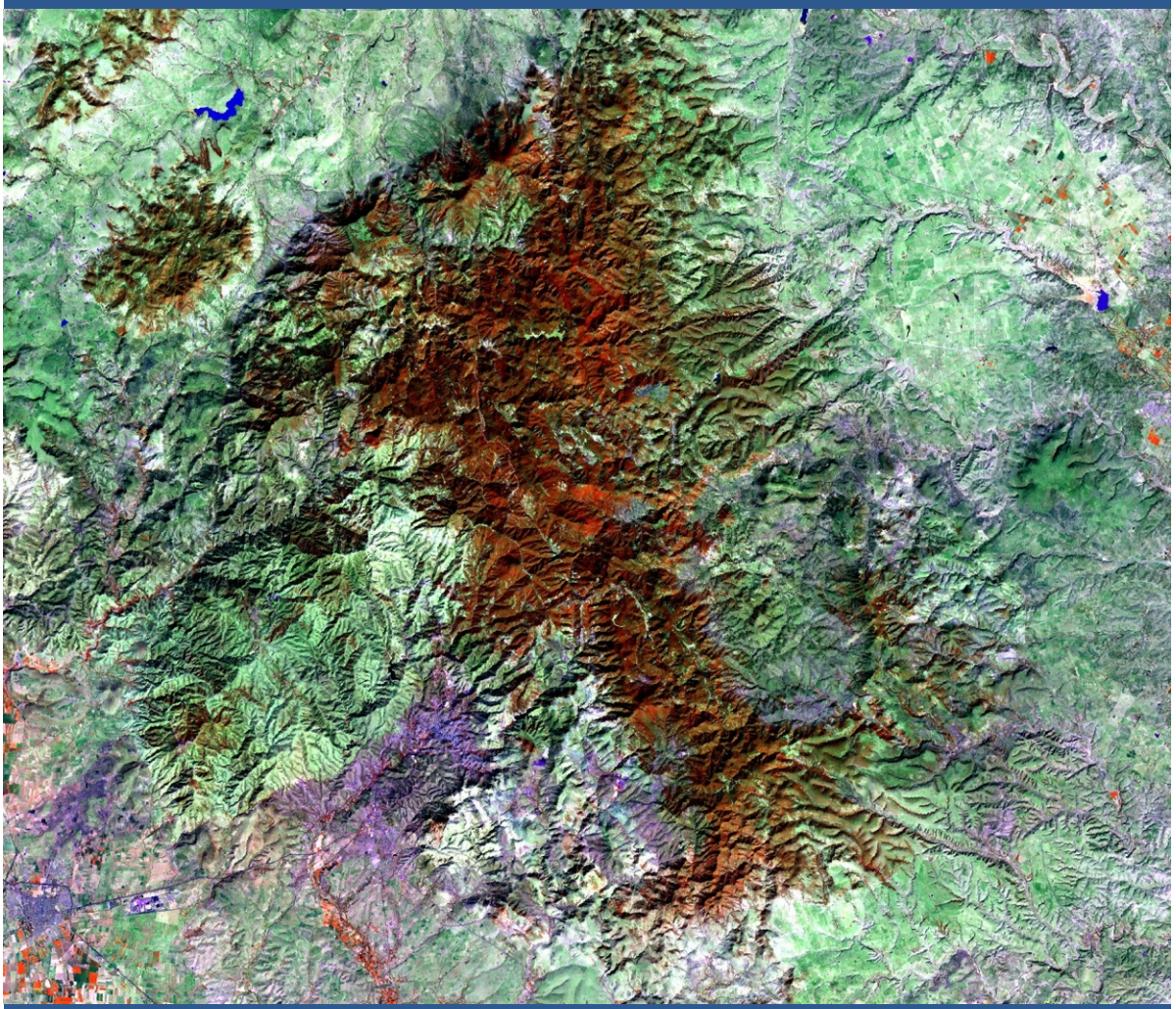
VOL. 32, Nº 2 DICIEMBRE 2011 ISSN 0717-2915

Revista Journal SELPER



Guanajuato - México
Imagen de satélite Landsat 7 ETM

REVISTA JOURNAL
SOCIEDAD LATINOAMERICANA DE PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL • SOCIEDADE LATINO-AMERICANA EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ESPACIAI • LATINAMERICAN SOCIETY ON REMOTE SENSING AND SPACE INFORMATION SYSTEM

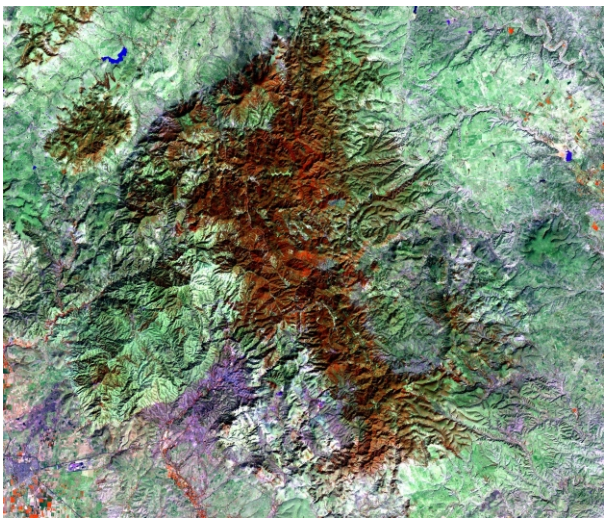
SELPER

VOL. 32 Nº 2 | Diciembre 2011 | ISSN 0717-2915

FOTO PORTADA

Guanajuato - México

Imagen de satélite Landsat ETM+, resolución espacial 30 metros, en composición Falso Color (4,5,3 / RGB), correspondiente a Guanajuato, México, y alrededores. Guanajuato se encuentra dentro de tres grandes provincias fisiográficas; la Mesa del Centro (norte); la Sierra Madre Oriental (noreste) y el Eje Neovolcánico (centro-sur). La palabra Guanajuato viene de los vocablos Kuanasï y Uato del idioma purépecha, que significa "Lugar montuoso de ranas" o "cerro de ranas". Obtenida de Global Land Cover Facility, Maryland.



EJEMPLAR DE DISTRIBUCION GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA

DIRECTORIO SELPER, SEDE MEXICO 2010 - 2012
Universidad Autónoma de Tamaulipas
Cd. Victoria, Tam. México
Tel. (834)3181721 - (834) 3189361
Selper.internacional@gmail.com

PRESIDENTE
Silvia Casas Gonzalez
Mexico

VICE-PRESIDENTE
Isabel Cruz
Mexico

VICE-PRESIDENTE
Eloy Perez
Cuba

VICE-PRESIDENTE
Aurelie Sand
Francia

SECRETARIO GENERAL
Fabián Lozano
Mexico

RESPONSABLE DE DIVULGACIÓN ELECTRÓNICA
Victor Flores
Mexico

TESORERO
Brenda Portes
Mexico

COMITÉ DE RELACIONES INTERNACIONALES
Luz Angela Salamanca (Colombia)
Presidente interina
Laurent Durieux – Francia
Pedro Luis García Pérez - Cuba
Pedro Martínez Fernández - Cuba
Olga Piedad Rudas - Colombia
Anyul del Pilar Mora - Colombia
Luis Geraldo Ferreira - Brasil
Washintong Franca Rocha - Brasil
Victor Barrena - Perú
Ramiro Salcedo - Venezuela

COMITÉ EDITORIAL
María Cristina Serafini (Argentina)
Presidente
Miriam Esther Antes – Argentina
Fabián Lozano – México
Leila María Fonseca – Brasil
Jorge Martín Chiroles - Cuba
Francisca Celia González - Argentina
Freddy Flores – Venezuela

COMITÉ DE EDUCACIÓN
Maria Antonia García Cisnero (Cuba)
Presidente
Luz Angela Rocha Salamanca-Colombia
Laura Delgado - Venezuela
Ethel Rubín de Celís Llanos - Perú
Josselisa Ma. Chávez - Brasil

COMITÉ DE PROYECTOS INTERNACIONALES
Paulo Roberto Martini (Brasil)
Presidente
Christopher Charron – Francia
Alfredo Cuello – Argentina

CAPÍTULOS CONSTITUIDOS

ARGENTINA
Miriam Esther Antes
Universidad Nacional de Luján (PRODITEL)
Fuerza Aérea Argentina (CSR)
Cruce Rutas 5 y Ex. 7 (6700)
Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54 - 2323- 420380 - int. 248
Fax: 54 - 2323- 425795
E-mail: selperargentina@gmail.com

BOLIVIA
José Luis Liseca
Carrera de Topografía y Geodesia
Facultad Técnica
Universidad Mayor de San Andrés
Av. Arce 2299 1º Piso
La Paz, Bolivia
Tel.: 591-2-2441401
E-mail: jlisec@hotmail.com

BRASIL
Leila María García Fonseca
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos
San Pablo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

CHILE
Gina Ghio
Data Research servicios de Ingeniería
Manuel Antonio Prieto 0152
Santiago, Chile.
Tel: 562 - 6651730
Fax: 562 - 6659201
E-mail: ginaghio@dataresearch.cl

COLOMBIA
Olga Piedad Rudas
Carrera 30 No. 48-51 Edificio IGAC-CIAF Of. 212
Bogotá D.C., Colombia
Tel: 57-1-369-4096
Fax: 57-1-369-4096
E-mail: orudas@prosis.com

CUBA
Pedro Luis García Pérez
Sede UNAICC, Humboldt No. 104,
Esquina a Infanta, Vedado, La Habana, Cuba
Telf.: (5 37) 8363447
E-mail: lgarcia@ch.unaicc.cu

ECUADOR
Cor. Ricardo Urbina
CLIRSEN
Edif. Instituto Geográfico Militar, Piso 4
Seniergues s/n y Paz y Miño
Apartado Postal 17-08-8216
Quito, Ecuador
Tel.: 593- 2- 254-3193

GUATEMALA
Carlos Alberto Duarte
Ingeniería Virtual
Ruta 4, 6-49 Zona 4, Oficina 14
Ciudad de Guatemala (01004), Guatemala
Tel: 502 - 334-1039/4038
Fax: 502 - 331-9390
E-mail: chduarte@hotmail.com

GUYANA FRANCESA
Laurent Polidoril
Directeur de Recherche IRD / US ESPACE 140
Institut de Recherche pour le Développement (ex-ORSTOM)
Route de Montabo - BP 165 - 97323 Cayenne cedex
Tel. (+594) 594 29 92 81
Fax (+594) 594 31 98 55
E-mail:polidori@cayenne.ird.fr

MÉXICO
Jean Francois Mass
UNAM Campus Morelia
Morelia, Michoacan, México
E-mail: jfmas@ciga.unam.mx

FRANCIA
Aurélie SAND
CNES
18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9
tél : 05 61 27 43 89
sec : 05 61 28 14 54, Christine Faure
E-mail: aurelie.sand@cnes.fr

URUGUAY
Antonio Alarcón
Servicio de Sensores Remotos
Aeroespaciales Fuerza Aérea Uruguaya
Ruta 101 s/n Km. 19500
Carrasco, Canelones, Uruguay
Tel.: 598 -2 601 4083
Fax: 598 -2 601 4090
E-mail: aalarconv@hiotmail.com

VENEZUELA
Ramiro Salcedo
Centro de Procesamiento Digital del Instituto de Ingenieria en Caracas
Apdo. Postal 40200 / Caracas, Venezuela
Tel/fax: 58 - 212 - 903 -4682
E-mail: ramiros@fii.org

PERÚ
Victor Barrena Arroyo
Universidad Nacional Agraria La Molina
Av. La Universidad s/n
La Molina, Lima, Perú
Tel / Fax: 51-1-349-5647 anexo 232/349-2041
E-mail: vbarrena@lamolina.edu.pe

CAPÍTULOS EN FORMACIÓN

PARAGUAY
Sergio M. Burgos Sosa
IPPA
Dr. César Sánchez 431
San Lorenzo, Paraguay
Tel/Fax: 595- 21-574909
Email: smburgos@highway.com.py

CAPÍTULOS ESPECIALES

ALEMANIA
Klaus Reiniger
DLR
D-8031 Oberpfaffenohfen
Alemania
Tel: 49- 8153- 281.189
Fax: 49- 8153- 281.443

CANADÁ
Fritz P. Dubois
25 Nidland
Crs Nepean Ontario Kh2-8n2
Ontario, Canadá
Tel: 613- 596-4164
Fax: 613- 723-9626

ESPAÑA
José L. Labrandero
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Pinar 25- Madrid 28006, España
Tel: 34- 411.10.98
Fax: 34- 562.55.67

HOLANDA
Carlos Valenzuela
ITC
350 Boulevard 1945, P.O.X. 6. 7500 AA
Enschede, Holanda
Tel.: 31 53 874-444
Fax: 31 53 874-400

ITALIA
Francesco Sarti
ESA/ESRIN
Via Galileo Galilei, s/n
I-00044 Frascati, Italia
Tel: 39 - 694180409
Fax: 39 - 694180602
E-mail: Francesco.Sarti@esa.int

Maurizio Fea
via Alessandro Poerio, 49
00152 Roma
tel/fax: +39065880581
móvil: +393281771383
E-mail: maufea@gmail.com

USA
Patricia M. Ravelo
SPOT
Estados Unidos
Tel: 1-800-ask-spot ext. 137
Fax: 703-648.1813
E-mail: ravelo@spot.com

COMITÉ EDITORIAL

María Cristina Serafini (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
(6700) Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.ar

Miriam Esther Antes (Argentina)
PRODITEL
Universidad Nacional de Luján
Cruce rutas 5 y ex 7
Luján, Buenos Aires, Argentina
Tel: 54-2323-423171 int 248
Fax: 54-2323-425795
E-mail: proditel@mail.unlu.edu.arx

Leila María Fonseca (Brasil)
INPE
Av. Dos Astronautas 1758, Sao José dos Campos, Sao Paulo, Brasil
Tel: 55 - 12-39456000
E-mail: leila@dpi.inpe.br

Fabián Lozano (Mexico)
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Av. Euganio Garza Sada # 2501 sur, Col. Tecnológico, Monterrey, Nuevo León, México
Tel: 52 - 81 - 8358 - 1400 ext 5275
Fax: 52 - 81 - 8358 - 6280
E-mail: dflozano@itesm.mx

Jorge Martín Chiroles (Cuba)
E-mail: ciencia@geocuba.com.cu

Francisca Celia González (Argentina)
Universidad Nacional del Sur
Departamento de Geología
San Juan 670 (8000)
Bahía Blanca, Argentina
Tel: 54 - 291 - 459 5102 - int. 4360
Fax: 54 - 291 - 459 5127
E-mail: ghgonzal@criba.edu.ar

Freddy Flores (Venezuela)
Fundación Instituto de Ingeniería
Carretera Vieja de Baruta, Sector Sartenejas, Urb. Monte Elena II
Caracas, Venezuela
Tel: 58 2-903 4661-4610
Fax: 58 2- 903 4780
E-mail: freddyf@fii.org

COMITÉ DE EVALUADORES

Fabián Lozano
(Tecnológico de Monterrey - México)
Silvia Casas González
(Universidad Nacional Autónoma de Tamaulipas - México)
Fabiola Yepez Rincón
(Universidad Nacional Autónoma de Tamaulipas - México)

ÍNDICE TEMÁTICO

- **La plaga de la mosca en el cultivo de la guayaba, una aplicación de la percepción remota en la prospección agrícola**

  Eduardo Vázquez Andrade

  Román Álvarez Béjar 5

- **Soil moisture estimation using an ensemble Kalman filter and active/pasive microwave observations**

  Alejandro Monsivais-Huertero

  Jasmeet Judge

  José Carlos Jiménez-Escalona 16

- **Cambios en el uso actual de la tierra y cobertura vegetal en la península de Paria – estado Sucre, Venezuela y su relación con la incidencia malárica**

  Laura Delgado

  Deicy Garcés

  Santiago Ramos

  Alberto Camardiel

  Francisco Marichal 24

- **Cambio en la cobertura y uso de suelo y evaluación del paisaje en el monumento natural Cerro de la Silla, Nuevo León, México**

  Martha Patricia Vela Coiffier

  Diego Fabián Lozano García 32

Editado por: SELPER Internacional
Universidad Nacional de Luján
Rutas 5 y ex 7, (6700) Luján - Bs. As. - ARGENTINA

EJEMPLAR DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA PROHIBIDA SU VENTA

PLAN EDITORIAL SELPER 2010 - 2012

PLAN EDITORIAL SELPER

A partir de las decisiones adoptadas en el marco del XIII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, llevado a cabo en La Habana, Cuba, en setiembre de 2008, la edición de la Revista SELPER está disponible en la página de nuestra Sociedad: http://www.selper.org.

En esta oportunidad hacemos llegar la publicación del volumen 32 Número 2, donde se incluyen trabajos que han sido presentados en el XIV Simposio Latinoamericano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, desarrollado en Guanajuato, México, entre los días 8 y 12 de noviembre de 2010.

La revisión de estos trabajos ha sido realizada por los miembros del Comité Organizador del mencionado Simposio bajo la coordinación del Dr. Fabián Lozano, a quién agradecemos su aporte.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los artículos recibidos serán enviados a tres (3) expertos en la temática para su revisión. Los trabajos aprobados serán publicados en estricto orden, de acuerdo a las fechas de llegada de las contribuciones.

Los idiomas oficiales SELPER son: Español, Portugués e Inglés.

Los trabajos deberán estructurarse contemplando las siguientes secciones:

a) Título del trabajo. Nombre de los autores y direcciones completas

b) Resumen (no más de 150 palabras) indicando al final las palabras claves. Deberá incluirse en Español o Portugués, además de Inglés

c) Introducción

d) Objetivos

e) Metodología empleada y materiales

f) Resultados obtenidos

g) Conclusiones

h) Bibliografía: sólo se incluirá la citada en el texto. Se indicarán los autores, por orden alfabético, año, título, revista o medio donde fue publicado, incluyendo volumen y páginas, cuando corresponda.

Los títulos y subtítulos de cada sección deberán estar claramente indicados (ya sea con numeración o tamaño de letras). Las tablas, fotos y figuras deberán ser suficientemente nítidas, llevar un título y estar numeradas en forma consecutiva.

Se deberá enviar una copia del trabajo en formato Word y una copia papel. La extensión total del trabajo no deberá superar las 12 páginas, (DIN-A4).

Los trabajos se enviarán a: editorial@selper.org

La plaga de la mosca en el cultivo de la guayaba, una aplicación de la percepción remota en la prospección agrícola

Eduardo Vázquez Andrade (1) Román Álvarez Béjar (2)

(1) Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Av. José María Chávez 1913, Edifico Parque Héroes 2° piso, Prados de Villa Asunción, Aguascalientes, Ags. 20280. eduardo.vazquez@inegi.org.mx Teléfono (449) 1490478
(2) Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510. rab@leibniz.iimas.unam.mx teléfono (55) 56223569

RESUMEN

El Valle de Calvillo es la zona de mayor producción de guayaba en México; desde hace algunos años, su comercialización hacia los Estados Unidos se ha visto restringida por las normas sanitarias impuestas a la presencia de la mosca de la fruta. Por lo anterior, autoridades y productores establecieron mecanismos para controlar la plaga. Con objeto de evaluar la posibilidad de identificar mediante percepción remota la presencia de esta plaga en huertos de guayaba, aplicamos técnicas de PR apoyadas con información de campo y registros de captura de mosca. Obtuvimos la respuesta espectral de guayabos con y sin presencia de la plaga. El análisis de PR se realizó sobre una imagen de satélite multiespectral SPOT5. Se realizó la clasificación supervisada, identificando 16 clases de información. La separación de las firmas se evaluó mediante la divergencia transformada, obteniendo valores entre 1995 y 2000; indicativos de firmas con mínima sobreposición. La matriz de confusión arrojó una exactitud global del 98.37%. Con relación a la presencia de la plaga, las lecturas de respuesta espectral evidenciaron una diferencia en el infrarrojo cercano, entre 1000 y 1100 nanómetros. A falta de una banda en ese rango en el satélite SPOT5, se utilizó el cociente de bandas infrarrojo-medio/rojo, relacionado con la ubicación de las trampas. Se encontró que en las trampas con mosca, el promedio del cociente fue de 1.38, a diferencia del grupo sin plaga, con 1.15. Las trampas que reportaron mosca tres semanas antes de la toma de la imagen tienen un promedio de 1.22, valor muy cercano al de trampas sin presencia de mosca. La diferencia detectada puede asociarse con la presencia de la mosca de la fruta, lo que se validó con el análisis de trampas sin presencia de mosca.

Palabras claves: Plagas, guayaba, percepción remota

ABSTRACT

The valley of Calvillo is the area of major production of guava in Mexico; for some years, guava commercialization towards the United States has turned out to be restricted by the health regulations imposed on the presence of the fruit fly. For this reason, authorities and producers established mechanisms to control the plague. In order to evaluate the possibility of identifying by means of remote sensing the presence of this plague in guava orchards, we apply techniques of remote sensing supported with information of field and records of capture of fruit fly. We obtained the spectral response of guava trees with and without presence of the plague. The remote sensing analysis was realized on an image of multispectral satellite SPOT5. The supervised classification was realized, identifying 16 information classes. The separation of the signatures was evaluated by means of the transformed divergence, obtaining values between 1995 and 2000; that are indicative values for signatures with minimal overlap. The confusion matrix yielded a global accuracy of 98.37 %. In relation to the presence of the plague, the readings of spectral response demonstrated a difference in the near infrared, between 1000 and 1100 nanometers. Due to the lack of a band in this range in the satellite SPOT5, we used the ratio bands middle-infrared /red, related to the physical location of the traps. We found that in the traps with fly, the average ratio was 1.38, in contrast to the group without plague, with 1.15. The traps that contained flies, three weeks before the capture of the image, have an average of 1.22, value very near to that of traps without presence of fly. The detected difference may be associated with the presence of the fruit fly; this was validated with the analysis of traps without the presence of the fly.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la guayaba en Calvillo, Aguascalientes, constituye junto con la región del cañón de Juchipila, Zacatecas, la región con los mayores volúmenes de producción de este frutal a nivel nacional; para 1997, Aguascalientes reportó un promedio de 13.5 toneladas por hectárea y Zacatecas un promedio de 6.7 en comparación con el estado de Michoacán que tuvo una producción promedio de 8 toneladas por

hectárea (ASERCA-ASPRA 1996). La importancia económica y estratégica que tiene la guayaba como producto agrícola en el estado de Aguascalientes, particularmente en el municipio de Calvillo, aunado a los problemas que representa para este frutal la presencia de plagas como la mosca de la fruta, las cuales limitan su comercialización al exterior, son las circunstancias que sustentan la necesidad de presentar los beneficios que puede tener la aplicación de la percepción remota para la identificación y monitoreo de este cultivo o plantación. El presente estudio se presenta los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de percepción remota para identificar la presencia de la mosca de la fruta en árboles de guayaba.

MOSCA DE LA FRUTA: ESPECIES ANASTREPHA

Una de las principales plagas que afectan a la producción de guayaba en la región de Calvillo es la mosca de la fruta, Anastrepha Striata y Anastrepha Ludens (Especies Anastrepha) (Perales et al 2005). La presencia de estas especies de moscas en las zonas de cultivo de guayaba es considerada por la regulación sanitaria de Estados Unidos como razón restrictiva para no aceptar el fruto proveniente de esas zonas, afectando directamente a la exportación. La mosca hembra deposita sus huevecillos en las guayabas y las larvas se liberan alimentándose del fruto, dejando zonas blandas o bofas como evidencia de su presencia (SAGAR-INIFAP 1998). La presencia de la larva acelera la maduración del fruto, ocasionando que caiga al suelo. La larva sale del fruto para enterrarse en el suelo a 10 cm de profundidad, donde se desarrolla como pupa hasta llegar al estado adulto. Finalmente la mosca emerge para continuar su crecimiento y alcanzar su madurez sexual entre los 5 y los 20 días posteriores (Perales et al, 2005).

DETECCIÓN Y CONTROL DE LA MOSCA

La detección de esta plaga se realiza por medio del muestreo de frutos y por la aplicación de trampeo, que consiste en la captura de ejemplares de A. Striata o A. Ludens mediante la ubicación de trampas McPhail y Multilure, a las que se les agrega un atrayente líquido a base de proteína hidrolizada, bórax y 235 cc de agua o atrayente sólido a base de pastillas Torula disueltas en 250 cc de agua. La junta de sanidad vegetal a cargo de la zona de Calvillo tiene 350 trampas distribuidas en el municipio y realiza su revisión los días lunes de cada semana. Cuando se capturan moscas de la fruta en el trampeo, se determina el índice MTD (Moscas Trampa por Día) (1) que se obtiene de la siguiente manera:

$$MTD = M / T \times D \quad (1)$$

Donde M es la cantidad de moscas capturadas, T es el número de trampas instaladas y D es el número de días de exposición de la trampa. El valor límite del índice MTD para aplicar medidas de control es de un MTD = 0.08; esto para impedir que la plaga alcance niveles de daño superiores al 5% en la cosecha. Las medidas de control pueden ser de tipo químico, mecánico o biológico. El control químico consiste en la aspersión de insecticida en la zona donde se capturó mosca de la fruta, hasta un radio de 250 m de la trampa; esto durante un periodo de 8 a 12 semanas según la especie de mosca que se haya encontrado. En el control mecánico se eliminan todos los frutos de los arboles afectados y son quemados. El control biológico consiste en la liberación de parasitoides que afectan a la mosca de la fruta en alguna de sus etapas de vida; así como en la liberación de mosca estéril de ambas especies. (Perales et al 2005).

ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en el estado de Aguascalientes, en el centro de México, específicamente en el municipio de Calvillo, que se ubica al suroeste en el estado de Aguascalientes (Figura 1). Las coordenadas extremas del municipio de Calvillo son: al Norte 22° 06' 21" Latitud Norte, al Sur 21° 42' 48" Latitud Norte, al Este 102° 31' 11" Longitud Oeste y al Oeste 102° 52' 07" Longitud Oeste (INEGI 2006).

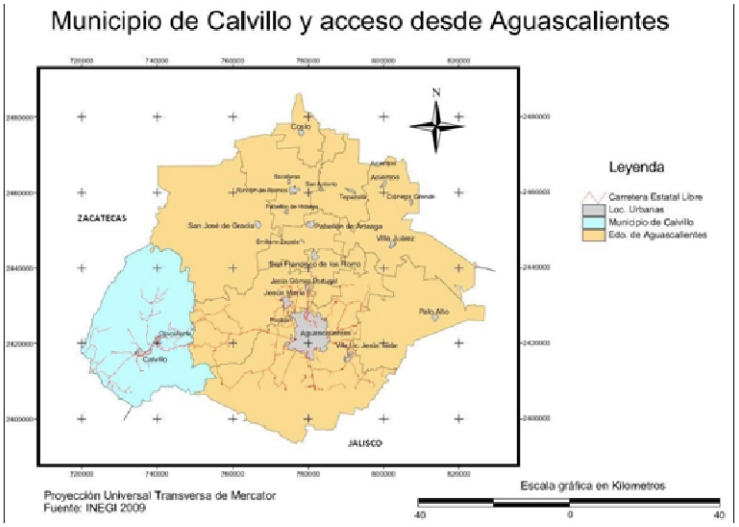


Figura 1. Localización del Municipio de Calvillo. Fuente: Elaborado en IRIS 4.0 y ArcView 3.2

REGISTRO DE REPUESTAS RADIOMÉTRICAS

Con la finalidad de contar con elementos que permitieran sustentar la hipótesis de "identificar mediante análisis de imágenes de satélite, las áreas de guayaba con presencia de mosca de la fruta", determinamos realizar medidas de la respuesta espectral de la vegetación en diferentes condiciones en la zona de estudio, de tal forma que al analizar la información captada se observara si es posible detectar diferencias en la respuesta espectral entre árboles de guayaba con y sin presencia de mosca de la fruta. Las lecturas de respuesta espectral, se registraron con el apoyo de un espectroradiómetro marca Analytical Devices Inc; se utilizó como dispositivo de captura un detector de 1 grado de abertura para concentrar la lectura en zonas sin que se vea afectada por la reflectancia de los elementos circundantes. En cada sitio donde se registro la respuesta espectral se realizó la calibración de la corriente oscura (Dark Current) del equipo, así como la calibración con una superficie blanca de referencia. Tomamos la respuesta espectral de hojas y árboles sin presencia de mosca (Figura 2), tanto en estado de producción como en calmeo. Asimismo, la respuesta espectral de hojas y árboles con presencia de la mosca (Figura 3). Finalmente obtuvimos la respuesta espectral de árboles que habían tenido presencia de la mosca diez semanas atrás (Figura 4) a la fecha en que se realizó esta actividad en campo.

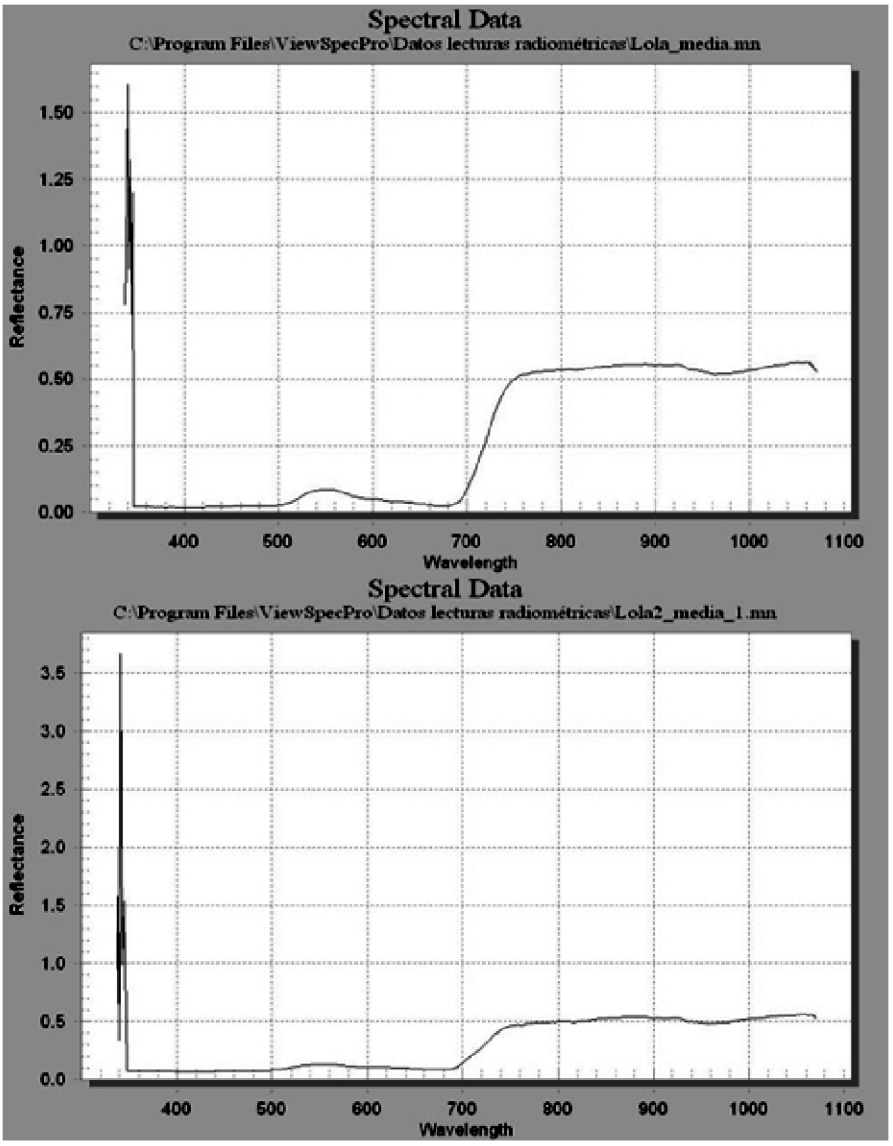


Figura 2. LOLA y LOLA2, Espectros de hojas y de árbol de guayaba sin presencia de mosca de la fruta. Fuente: Material elaborado en el programa ViewSpec Pro V 2.03

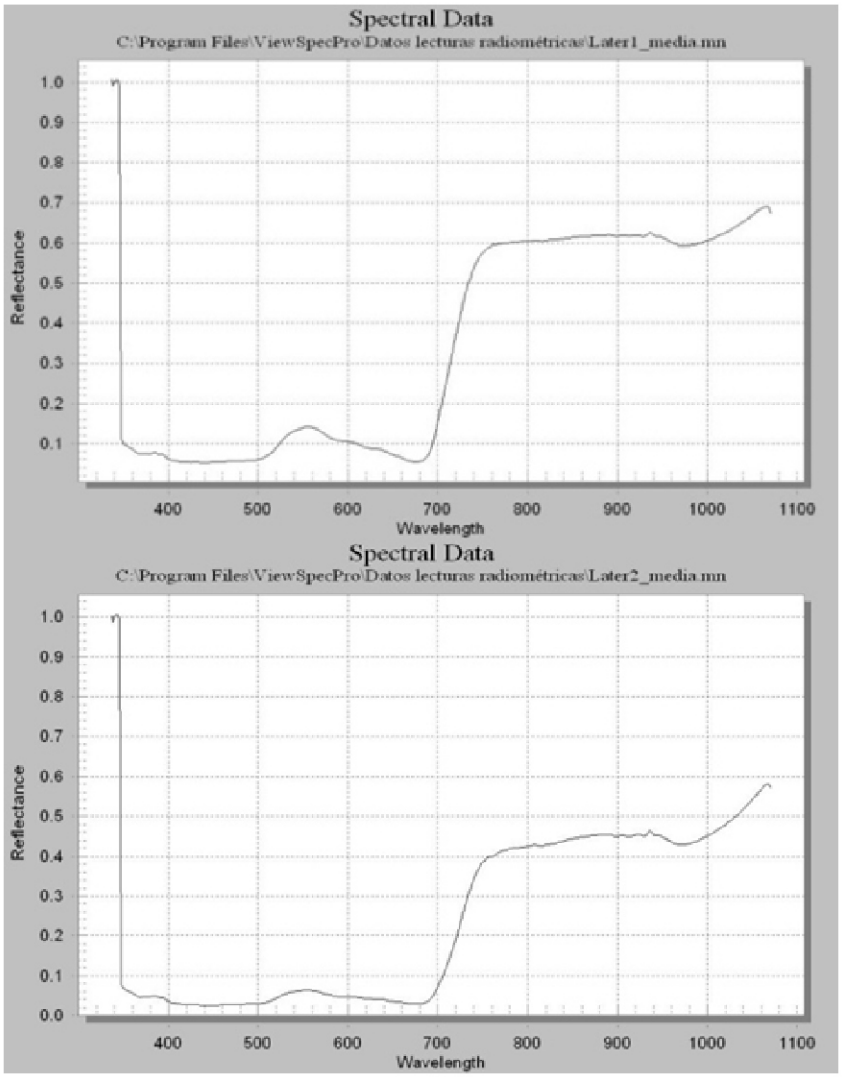


Figura 3. LATER1 y LATER2, Espectros de hojas de árbol de guayaba con presencia de mosca de la fruta. Fuente: Material elaborado en el programa ViewSpec Pro V 2.03

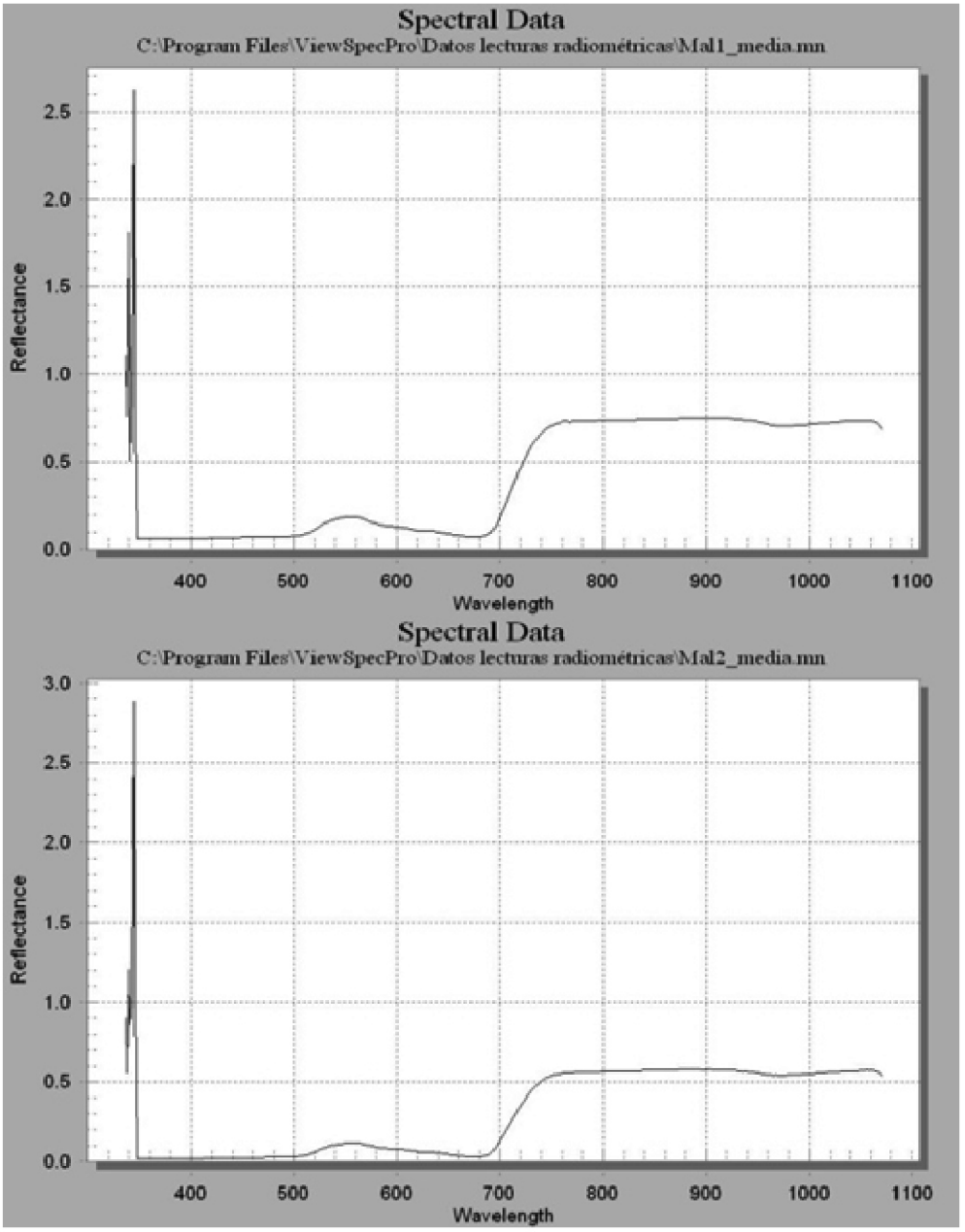


Figura 4. MAL1 y MAL2, Espectros de hojas y de árbol de guayaba con presencia de mosca de la fruta hace 10 semanas. Fuente: Material elaborado en el programa ViewSpec Pro V 2.03

En los espectros obtenidos, se observa una diferencia sensible en el infrarrojo cercano (1000 nm a 1080 nm) para los casos con presencia de mosca. Ante esta evidencia, revisamos la posibilidad de identificar esta diferencia por medio del procesamiento digital de una imagen de satélite.

PROCESO DE PERCEPCIÓN REMOTA

Utilizamos la imagen de satélite SPOT5 multiespectral, correspondiente al ROW PATH 580/306 de fecha 15 de marzo de 2007, la cual fue georreferenciada y recortada para tener sólo el área de estudio, cuyas coordenadas UTM Zona 13 son:

X min= 727200 X máx= 745400
Y min= 2408900 Y máx= 2430100

Para identificar el cultivo de la guayaba, hicimos varias composiciones en falso color infrarrojo utilizando combinaciones de bandas de la imagen, en las posiciones correspondientes al Rojo, Verde y Azul (RGB). Utilizamos la composición de falso color infrarrojo 412 (Figura 5), para la identificación de coberturas de suelo representativas y digitalizamos polígonos de entrenamiento para 16 clases de información incluyendo tres clases asociadas al cultivo de guayaba en diferentes estados de producción.

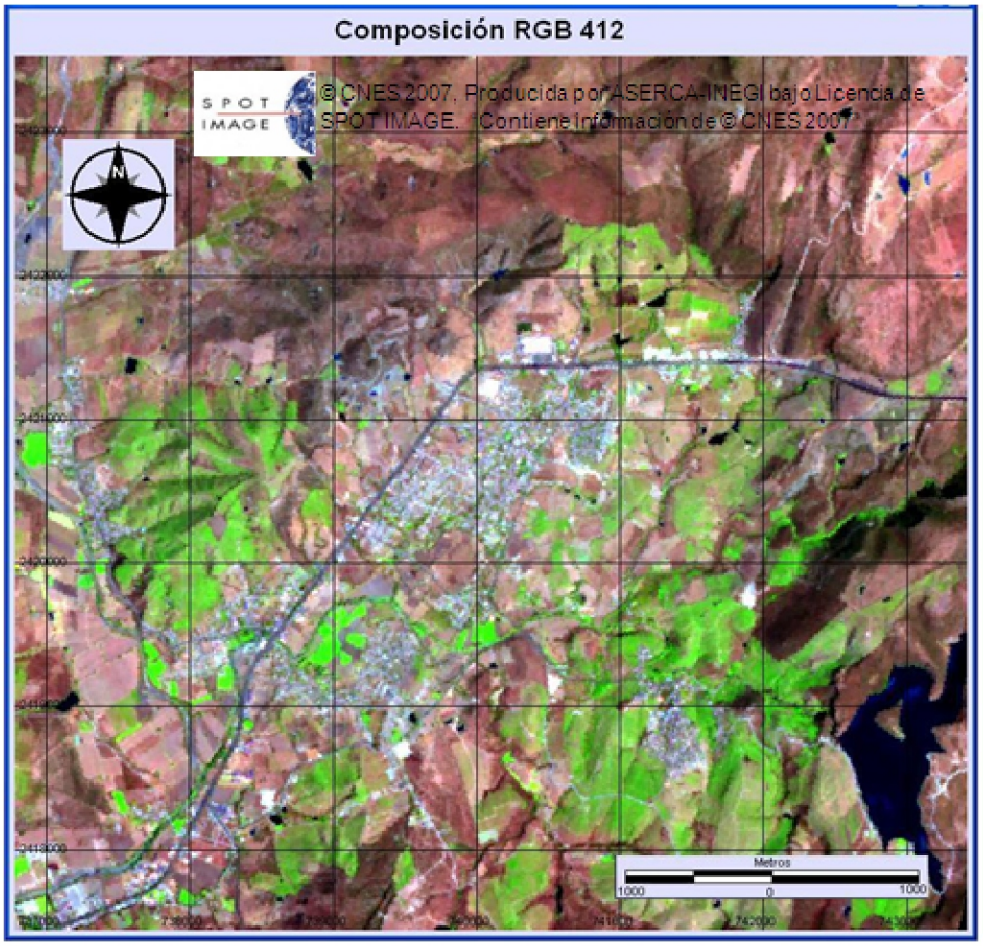


Figura 5 Composición en falso color Infrarrojo 412. Fuente: Imagen SPOT 5 multiespectral K-J 580-306

Se revisaron gráficamente las firmas obtenidas, empleando el método del dispersograma (scatterplot) en dos dimensiones, utilizando las combinaciones de pares de bandas posibles. Adicionalmente con la finalidad de minimizar los errores en la clasificación se evaluaron las firmas mediante la divergencia la cual evalúa el grado de separabilidad de los posibles pares de clases en un número constante de bandas, usando la siguiente ecuación (2) (Jensen 1986).

$$Diverg_{cd} = 0.5Tr\left[(V_c - V_d)(V_c^{-1} - V_d^{-1})\right] + 0.5Tr\left[(V_c^{-1} + V_d^{-1})(M_c - M_d)(M_c - M_d)^T\right] \quad (2)$$

Asimismo mediante la divergencia transformada sugerida por Kumar y Silva en 1977 (Jensen 1986) la cual proporciona una reducción exponencial del peso conforme aumenta la distancia entre clases, presentando los valores de la divergencia en una escala que va del 0 al 2000. Un valor de 2000 es indicativo de una excelente separación de clases o firmas, por debajo de 1700 se considera una pobre separación de clases.

$$Diverg_{cd}^{T} = 2000\left(1 - \exp\frac{(-Diverg_{cd})}{8}\right) \quad (3)$$

Los resultados de la divergencia transformada arrojaron valores entre 1999 y 2000 para las tres clases de guayaba, evidencia de una buena separación y de 1754.55 para las clases de avena y alfalfa, las cuales resultaron tener una separación muy pobre.

Con las firmas obtenidas realizamos una clasificación supervisada de la imagen utilizando el algoritmo de máxima similitud que fue el que mejores resultados arrojó en la matriz de error o de confusión (en esta se compara la información de referencia con los pixeles clasificados, la diagonal principal corresponde a los pixeles correctamente clasificados) (Congalton 1991), con un valor de exactitud total del 98.37%; adicionalmente obtuvimos la exactitud del productor y del usuario así como el índice de Kappa de correspondencia (Tabla 1) para cada clase utilizada, confirmando la calidad de la clasificación.

Tabla 1. Evaluación de la clasificación supervisada

Clase	Exactitud del productor	Exactitud del Usuario	KIA
Guayaba en producción 1	100.00%	94.74%	1.0000
Guayaba en Producción 2	100.00%	97.79%	1.0000
Guayaba en calmeo	99.57%	99.13%	0.9955
Cultivo de avena	94.04%	97.32%	0.9403
Cultivo de alfalfa	1.73%	1.72%	0.9672
Otros cultivos 1	100.00%	99.50%	1.0000
Otros cultivos 2	98.63%	99.65%	0.9862
Otros cultivos 3	99.28%	94.81%	0.9927
Matorral	98.24%	96.96%	0.9796
Bosque 1	98.38%	98.56%	0.9831
Bosque 2	98.59%	97.98%	0.9858
Urbano	96.92%	98.85%	0.9034
Suelo desnudo	100.00%	96.54%	1.0000
Agua clara	98.33%	85.92%	0.9833
Agua turbia	98.94%	99.93%	0.9894
Agua con vegetación	99.79%	99.79%	0.9979
(KIA) Índice Kappa de correspondencia			
Fuente: Valores obtenidos en IDRISI módulo de CROSSTAB			

Comparamos la cobertura de guayaba obtenida, con la digitalización huertos de guayaba extraída de la cobertura de ortofotografías tomadas en el año 2000 (Figura 6), encontrando alta correspondencia. Las diferencias entre las coberturas se deben a los cambios que ha tenido el cultivo de la guayaba del año 2000 al 2007.

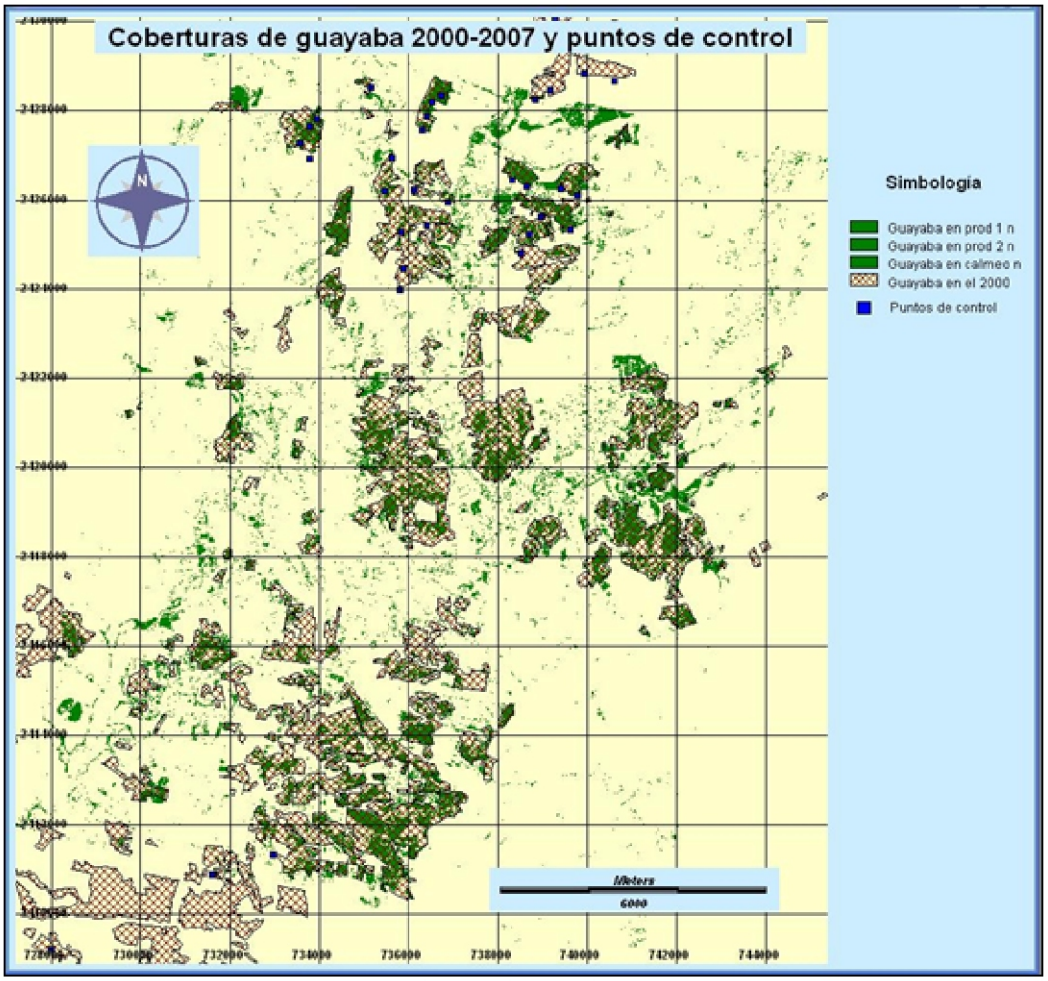


Figura 6 Comparación de coberturas de guayaba. Fuente: Elaborado en IDRISI

VALIDACIÓN DE LAS LECTURAS RADIOMÉTRICAS

Se trató de identificar el efecto detectado en los espectros obtenidos en campo; sin embargo debido a la falta de una banda con información en el rango de los 1000 a los 1100 nm en la imagen SPOT, se analizó la imagen mediante el Índice de Vegetación obtenido por cociente de las bandas infrarrojo y rojo, referido en la bibliografía de percepción remota como Ratio Vegetation Index (Eastman, 2006) de acuerdo a la siguiente expresión (4).

$$Cociente = \frac{IR}{R}$$

Donde:
IR= Banda del infrarrojo (banda 4)
R= Banda del rojo (banda 2)

El procesamiento del cociente de bandas arrojó una imagen en la que el índice varía entre 0.16 hasta 2.92 El cociente de bandas IR/R y se relacionó directamente con los registros de captura de mosca levantados por el CESVA para la fecha de toma de la imagen. Identificamos la ubicación de las trampas con mosca en la semana de la toma de la imagen (semana 11) así como las trampas con mosca

reportada en las semanas 8 a 10 y 12. Para cada trampa se obtuvieron los valores máximos y mínimos del índice, dentro de un radio de 400 m alrededor de la misma, identificando pixeles asociados a la cobertura de guayaba únicamente. Obtuvimos además el valor medio del índice para cada trampa con mosca (Tabla 2).

Con la finalidad de comprobar si el comportamiento del índice del cociente de las bandas 4/2 difiere de lo obtenido en las zonas con captura de mosca, se analizaron también zonas con trampas sin reporte de captura de mosca (Tabla 3).

Realizamos el análisis estadístico básico a los valores promedio del proceso anterior, obteniendo las medidas de tendencia central y de dispersión. El análisis se realizó agrupando los datos de trampas con mosca (semanas 9 a 12), excluyendo los datos de la semana 8 que presentan un valor promedio más cercano al de los datos sin mosca. (Tabla 4).

Tabla 2: Cociente infrarrojo/rojo (IR/R) en trampas con presencia de moscas en las semanas 8 a 12 del 2007

Zona	Trampa	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Cociente IR/R		
							Mínimo	Máximo	Promedio
2	135	X					0.9	1.3	1.1
2	116	X					1	1.2	1.1
2	126	X					1.3	1.7	1.5
2	91	X					1.1	1.3	1.2
2	106	X					1.1	1.3	1.2
2	105	X					1.2	1.4	1.3
3	252	X	X				1	1.2	1.1
3	251	X					1	1.3	1.15
1	62		X				1.4	1.8	1.6
2	176		X				1.3	1.6	1.45
2	182		X				1.4	1.7	1.55
3	265		X			X	1.3	1.7	1.5
1	50			X			1.4	1.8	1.6
2	150			X	X	X	1.2	1.9	1.55
2	157			X			0.7	1.2	0.95
3	223			X			1.2	1.5	1.35
1	58				X		1.3	1.5	1.4
1	192				X	X	1.4	1.7	1.55
2	78				X		1.3	1.5	1.4
3	302				X		1.2	1.7	1.45
1	32					X	1.3	1.9	1.6
1	45					X	1.2	1.7	1.45
1	52					X	1.2	1.6	1.4
2	205					X	1.2	1.6	1.4
2	64					X	1.3	1.7	1.5
2	103					X	1.2	1.5	1.35
2	155					X	1.1	1.7	1.4
2	94					X	0.8	1.2	1
2	95					X	1.1	1.4	1.25
2	96					X	1	1.3	1.15
3	221					X	1.2	1.5	1.35
n/d No disponible (Trampa fuera de la imagen trabajada									

Fuente: Elaborado con información del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Aguascalientes (CESVA), Delegación Calvillo y valores identificados.

Tabla 3: Cociente infrarrojo medio/rojo (IRM/R) en trampas sin presencia de moscas semana 11 del 2007

Zona	Trampa	Cociente IRM/R		
		Mínimo	Máximo	Promedio
1	30	1.1	1.3	1.2
1	37	1	1.2	1.1
1	191	1.1	1.3	1.2
1	46	1.1	1.3	1.2
1	63	1.1	1.3	1.2
2	186	1	1.3	1.15
2	204	1	1.3	1.15
2	205B	0.7	1	0.85
2	sn	0.9	1.3	1.1
2	118	1.1	1.3	1.2
2	121	1.1	1.3	1.2
2	125	1.1	1.3	1.2
3	258	1	1.3	1.15
3	151	1.1	1.3	1.2
3	238B	1.1	1.4	1.25

Fuente: Elaborado con información del Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Aguascalientes (CESVA), Delegación Calvillo y valores

Tabla 4: Estadística básica por variable, datos de trampas con mosca agrupados excepto semana 8

	Con mosca (semanas 9-12)	Sin Mosca	Con mosca Semana 8
N	24	15	7
Media	1.3875	1.1567	1.2214
Error estándar de la media	0.03701	0.02433	0.05329
Mediana	1.4	1.2	1.2
Moda	1.4	1.2	1.10(a)
Desviación estándar	0.18133	0.09424	0.141
Varianza	0.033	0.009	0.02
Asimetría	-1.087	-2.732	1.51
Error estándar de la asimetría	0.472	0.58	0.794
Curtosis	0.646	8.727	2.3
Error estándar de la curtosis	0.918	1.121	1.587
Rango	0.65	0.4	0.4
Mínimo	0.95	0.85	1.1
Máximo	1.6	1.25	1.5
Suma	33.3	17.35	8.55

a Existen múltiples modas. Se muestra el valor más bajo

Fuente: Obtenido en el programa SPSS con los datos de los promedios de los índices de las trampas consideradas.

RESULTADOS OBTENIDOS

El cociente de bandas 4/2 si evidenció un comportamiento específico cuando se asoció directamente con las trampas con captura de mosca y se comparó contra trampas sin mosca, los valores máximos y mínimos de las trampas con mosca presentaban un incremento casi constante para ambos valores; esto es más evidente al graficar el valor medio por semana, en la Figura 7 se aprecia claramente que en las trampas con mosca son de 0.2 a 0.3 mayores que aquellas en las que no hay presencia de ésta. El análisis exploratorio de los valores promedio agrupados del índice del cociente de bandas (Tabla 4), mostró esa diferencia entre los valores medios con mosca y sin mosca.

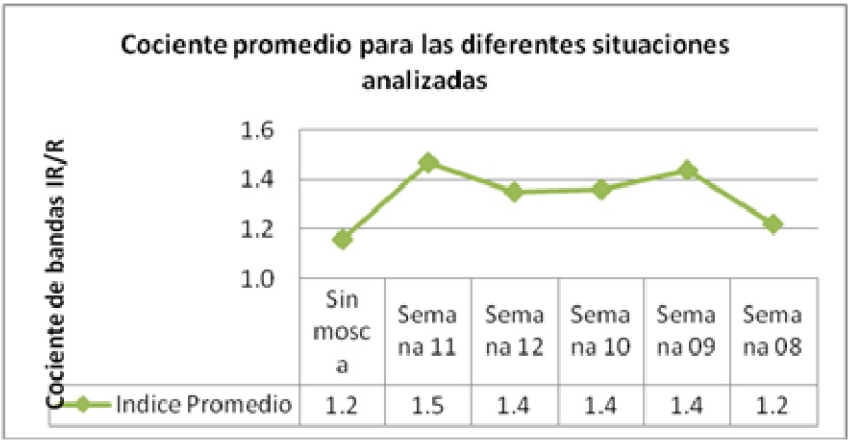


Figura 7 Cociente promedio Fuente: elaborado con información del cociente de bandas 4/2 de la imagen SPOT5 multiespectral K-J 580-306

Para confirmar esta diferencia, ambos grupos de datos, con mosca y sin mosca se evaluaron mediante el Test-T, dando como resultado que hay una diferencia promedio de 0.27 entre ambos grupos de datos; este valor se obtuvo con un 95% de confianza.

CONCLUSIONES

Con la información disponible pudimos identificar un comportamiento específico en las zonas con presencia de mosca de la fruta a través del índice obtenido por el cociente de las bandas infrarrojo medio/rojo. La cantidad de datos revisados sugieren que se trata de un comportamiento consistente, directamente asociado a la presencia de mosca de la fruta. Así mismo, el análisis del cociente y de los estadísticos de los datos también permitió identificar que las trampas con tres semanas o más de haber detectado mosca, ya no presentan el mismo comportamiento y que sus valores se presentaron más parecidos a los de las trampas sin mosca. Esto se puede estar asociado al tiempo que requieren los controles químicos y mecánicos que se aplican en los lugares donde se captura mosca para que comiencen a mostrar resultados y los arboles comiencen a restablecer su condición normal.

De esta manera concluimos que si es factible utilizar las técnicas de percepción remota para identificar las zonas de árboles de guayaba afectados por la plaga de las moscas Anastrepha Striata y Anastrepha Ludens, así como los no afectados. Los resultados obtenidos sugieren que realizando un monitoreo del cultivo por medio de imágenes satelitales, es factible apoyar los procesos de identificación de las áreas afectadas que actualmente se llevan a cabo.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Aguascalientes (CESVA) y a su delegación en Calvillo por las facilidades y el apoyo proporcionado para la obtención de datos y para los recorridos de campo. Sin este apoyo no habría sido posible realizar esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- ASERCA-ASPRA Consultores. 1996. Estudio mundial de la guayaba. ASERCA. México. Abril 1996. 189 p.
- Congalton R. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing Environment No. 37. USA. p 35-46.
- Eastman J. Ronald. 2006. IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing. IDRISI Production. Clark University. USA. 327 p.
- INEGI. 2006. Cuadernos estadísticos municipales del Estado de Aguascalientes (Municipio de Calvillo). Formato digital. México.
- Jensen John R. 1986. Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. Prentice-Hall. New Jersey. USA. 379 p.
- Perales de la Cruz, Miguel Ángel., Padilla Ramírez, José Saúl., González Gaona, Ernesto., Reyes Phillips, Héctor Rogelio., compiladores. 2005. Manual para la producción integral de la guayaba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-INIFAP-Consejo Nacional Mexicano de la Guayaba A.C.-Fundación PRODUCE Aguascalientes A.C. México. 179 p.
- Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP. 1998. Guía para la asistencia técnica agrícola: área de influencia del Campo Experimental Pabellón. 4ª Edición. Aguascalientes. México. 429 p.

Soil moisture estimation using an ensemble Kalman filter and active/pasive microwave observations

Alejandro Monsivais-Huertero (1), Jasmeet Judge (2), and José Carlos Jiménez-Escalona (1)

(1) Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME-Ticomán, Instituto Politécnico Nacional. Av. Ticomán 600, Col. San José Ticomán, Del. Gustavo A. Madero. México D. F., C.P. 07340. Email: amonsivais@ipn.mx, monsivais@ufl.edu.
(2) Center for Remote Sensing, Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida. Frazier Roger Hall, Museum Road, Gainesville, 32611, USA

ABSTRACT

Energy and soil moisture fluxes at the atmosphere and root-zone interface are governed by atmospheric and hydrological processes and agriculture. Soil Vegetation Atmosphere Transfer (SVAT) models, which estimate these fluxes, rely on biophysical parametrizations of the land processes. Even though the coupled SVAT-vegetation models capture the biophysics fairly well, their estimates diverge from reality due to errors in model conceptualization, computation, and numerical implementation, and due to uncertainties in forcings. The model estimates of moisture in the root zone can be significantly improved by assimilating remotely sensed data; particularly microwave active and passive observations. The assimilation of microwave observations eliminates the moisture content restrictions for vegetation and soil at the SVAT-model estimates. Most of the soil moisture studies have been focused on short periods, due to the high cost of measurement campaigns, allowing the assumption of constant vegetation parameters. This indicates that it is still necessary the development and validation of methodologies based on physical models that use complementary information from combined microwave active and passive microwave observations at different frequencies, polarization, and spatio-temporal resolutions. The objective of this paper is to present an overview in the estimation of soil moisture by using Ensemble Kalman Filter based algorithms and linked SVAT-microwave models to assimilate active and/or passive microwave observations.

Key words: Soil moisture, data assimilation, microwave observations

RESUMEN

Los flujos de energía y humedad en la interface atmósfera y zona de raíces del suelo (0-1 m de profundidad) están gobernadas por procesos atmosféricos, hidrológicos y de crecimiento de cultivos. Los modelos de Transferencia Suelo-Vegetación-Atmósfera (TSVA), que simulan estos flujos, usan parametrizaciones biofísicas de los procesos terrestres. Aunque los modelos acoplados TSVA-vegetación simulan los procesos biofísicos relativamente bien, sus estimaciones divergen de la realidad debido a la acumulación de errores de parametrización y computacionales, así como falta de datos meteorológicos. Una forma de mejorar las simulaciones de los modelos es mediante la asimilación de observaciones satelitales, en particular aquéllas de microondas activas y pasivas, eliminando de esta forma algunas de las restricciones en las estimaciones de los modelos TSVA para el contenido de agua en el suelo y vegetación. La mayoría de los estudios de humedad d suelo aún son realizados en un periodo corto de tiempo debido al alto costo de operación de los instrumentos, lo que propicia que las propiedades de la escena sean consideradas constantes. Esto indica que aún es necesario el desarrollo y validación de la metodología basadas en modelos físicos que aprovechen la información complementaria obtenida al integrar observaciones de satélite con sensores activos y pasivos a diferentes frecuencias, polarizaciones y resoluciones espacio-temporales. El objetivo de este estudio es presentar una recopilación de los estudios enfocados a la estimación de la humedad de suelos usando algoritmos basados en el Filtro Kalman de Conjunto y modelos acoplados TSVA-microondas para asimilar observaciones de microondas activas y/o pasivas.

Palabras claves: Humedad de suelo, asimilación de datos, observaciones de microondas.

INTRODUCTION

Accurate knowledge of root zone soil moisture (RZSM) is crucial in hydrology, micrometeorology, and agriculture for estimating energy and moisture fluxes at the land surface. Soil moisture plays a significant role in the partitioning of available energy at the ground surface into sensible and latent heat, as well as in partitioning of rainfall into infiltration and runoff (Chaubey et al., 1999). Soil Vegetation

Atmosphere Transfer (SVAT) models are used to simulate energy and moisture transport in soil and vegetation, and estimate these fluxes at the land surface and in the root zone. The interactions between the fluxes and vegetation become increasingly important as the vegetation grows. Most SVAT models rely on observations or empirical functions to simulate the effects of growing vegetation on land surface models. Coupling an SVAT model with a vegetation growth model allows inclusion of canopy effects without relying on these observations or empirical functions (Pauwels et al., 2007; Casanova and Judge, 2008).

Even though the coupled SVAT-vegetation models capture the biophysics fairly well, their estimates of RZSM diverge from reality due to errors in model conceptualization, computation, and numerical implementation, and due to uncertainties in model parameters, forcings, and initial conditions. The model estimates of RZSM can be significantly improved by assimilating remotely sensed (Crow et al., 2008), in situ (Moradkhani et al., 2005) observations of soil moisture or assimilating remotely sensed microwave observations at low frequencies (< 10 GHz), such as microwave brightness (TB) and/or backscattering coefficient (?0), into an SVAT model (Entekhabi et al., 2008). The ESA-SMOS and the near-future NASA-SMAP missions include active and/or passive microwave sensors at L-band provide global observations, with a repeat coverage of every 2-3 days. The JAXA-ALOS provides active observations with a repeat coverage of 46 day.

Early studies used for estimating time-varying states, assume that the only source of errors is uncertainties in model parameters. Recent studies have incorporated errors in forcings, initial conditions, as well as those in model parameters (Reichle et al., 2008). Some studies that conduct sensitivity analyses assume a lumped error from all of the sources without incorporating errors from each, explicitly [e.g. (Crow et al., 2005)]. All these sources of uncertainties can be incorporated using sequential data assimilation procedures, such as the EnKF (Dunne et al. 2007).

The EnKF is a Monte-Carlo based Kalman Filter that can be used for problems that are highly non-linear. One of the main advantages of the EnKF is that it does not require linearization of the state equation during the propagation step. The EnKF is typically applied for dynamic state estimation, but model parameters can also be included in the framework through a state augmentation technique (Pauwels et al., 2007). However, this increases the number of model states and parameters that are estimated simultaneously, resulting in increased computational demand and complexity. Recent advances in high performance computing allow for simultaneous estimation of state and parameters. The objective of this study is to present an overview in the estimation of soil moisture by using EnKF-based algorithms.

ESTIMATION OF SOIL MOISTURE PROFILE BY ASSIMILATING IN-SITU SOIL MOISTURE OBSERVATIONS

Monsivais-Huertero et al. (2010) implemented an EnKF based assimilation algorithm to improve RZSM estimates when coupling a Land Surface Process (LSP) model and Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) model. The objective of this study was to use field observations during a growing season of corn in North Florida to understand the effects of simultaneous state-parameter estimation and forcing uncertainties on RZSM estimates from the LSP-DSSAT model. A comparison of EnKF performance using high spatio-temporal density observations from the MicroWEX-2 experiment and synthetic observations was conducted to differentiate model errors in biophysics from errors in parameters and forcings (see Figs. 1 and 2).

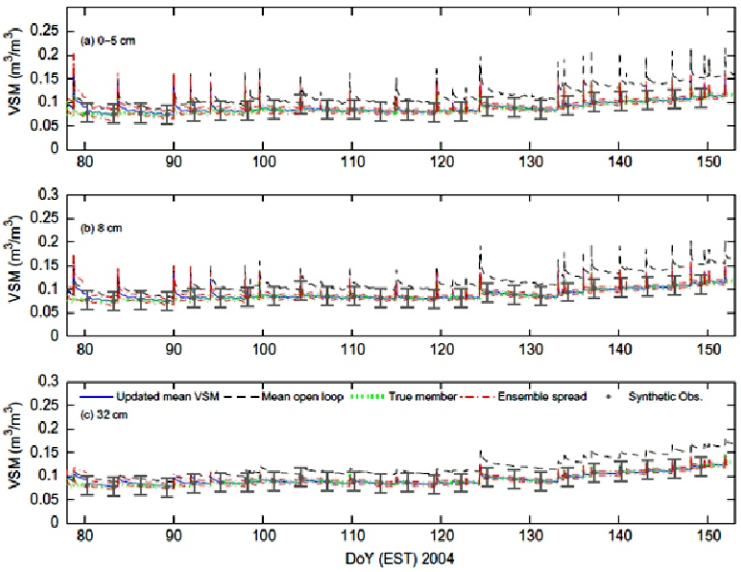


Figure 1. Means and standard deviations at depths of (a) 0-5 cm, (b) 8 cm, and (c) 32 cm for simultaneous state-parameter estimation when synthetic observations are assimilated every 3-days. These values are compared with true values and open-loop estimates. (Figure extracted from Monsivais-Huertero et al. (2010))

The RZSM was found to be the most sensitive to four of the 12 parameters in the LSP-DSSAT model, viz., porosity (φ), pore-size index (λ), air-entry pressure (ψ0), and saturated hydraulic conductivity (Ksat). Assimilating synthetic observations produced estimates of volumetric soil moisture (VSM) close to the true values throughout the soil profile with an average error of about 0.2% VSM (90% reduction of the open-loop RMSE) for the entire growing season, whereas assimilating MicroWEX-2 observations produced estimates that were biased high from the observations in the deeper layers with an average error of about 1.5% VSM (40% reduction of the open-loop RMSE) in the top 32 cm (see Figs. 1 and 2). In the deeper layers, the VSM were biased high with an average error of 2.3% VSM (50% reduction of the open-loop RMSE) during the growing season for the MicroWEX-2 observations. This difference between VSM error for the field experiment and synthetic case indicated that the field observations did not follow the model assumptions (i.e. homogeneous soil) and/or physics perfectly, unlike the synthetic observations.

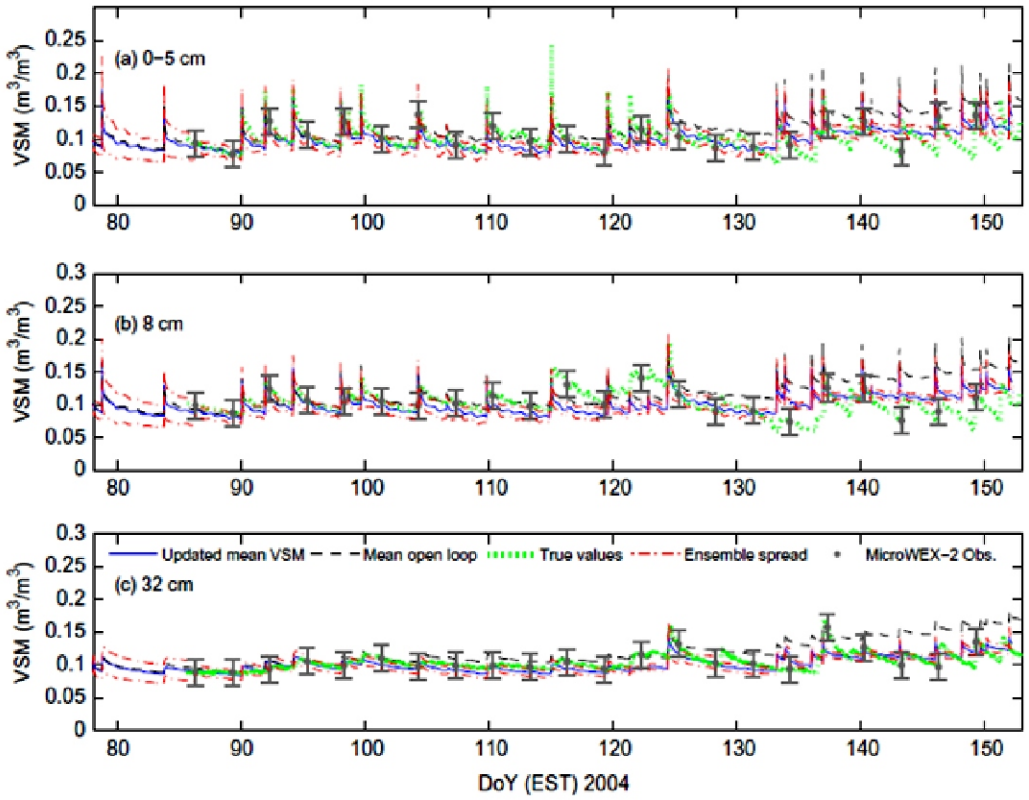


Figure 2. Means and standard deviations at depths of (a) 0-5 cm, (b) 8 cm, and (c) 32 cm for simultaneous state-parameter estimation when MicroWEX-2 observations are assimilated every 3-days. These values are compared with true values and open-loop estimates. (Figure extracted from Monsivais-Huertero et al. (2010))

When forcings were assumed to be known perfectly, the simultaneous state-parameter estimates with daily or 3-day updates resulted in the lowest uncertainty in RZSM estimation when VSM observations at five depths were assimilated. Introducing errors in precipitation/irrigation forcings marginally increased the RZSM ASD by 0.02% VSM (5%) and the RZSM RMSE by 0.02% VSM (2%) in comparison to the perfectly-known-forcing case using either synthetic or MicroWEX-2 observations for every 3 days assimilation, and the RZSM ASD and the RZSM RMSE also marginally increased to 0.02% VSM (4%) and 0.02% VSM (3%), respectively, when observations were assimilated every day. Comparing different depth combinations to estimate RZSM, it was found that VSM observations at all depths (0-5, 8, 32, 64, and 100 cm) produced similar results to using only 0-5 and 64cm observations. This demonstrated that detailed profile measurements were not necessary in this study and a two-depth combination, one at near-surface and one deeper in the soil, provided as similar estimates of RZSM.

ESTIMATION OF SOIL MOISTURE PROFILE BY ASSIMILATING PASSIVE OBSERVATIONS

The European Space Agency-Soil Moisture and Ocean Salinity (ESA-SMOS) and the near-future

NASA-Soil Moisture Active Passive (SMAP) missions will provide unprecedented observations of brightness temperature (TB) at 1.4 GHz for soil moisture research and therefore understanding and evaluating the impact of using TB versus in situ soil moisture for assimilation is important.

The European Space Agency-Soil Moisture and Ocean Salinity (ESA-SMOS) and the near-future NASA-Soil Moisture Active Passive (SMAP) missions will provide unprecedented observations of brightness temperature (TB) at 1.4 GHz for soil moisture research and therefore understanding and evaluating the impact of using TB versus in situ soil moisture for assimilation is important.

Only a few studies have been performed on EnKF-based assimilation of L-band microwave brightness temperature for RZSM estimation. Most of studies involved assimilation of empirically-derived near-surface soil moisture from synthetic observations of TB either under static vegetation or assumed bare soil. Even fewer studies have been conducted that utilize real observations of TB (Crow et al. 2008). These studies also assimilated soil moisture values retrieved from the observations of TB into the SVAT model. Studies comparing the performance of the EnKF directly assimilating both synthetic and field observations of TB and volumetric soil moisture (VSM) are necessary to understand the impact of uncertainties in model biophysics, particularly under dynamic vegetation conditions, and to compare the improvements to RZSM estimates obtained under TB and VSM assimilation.

Nagarajan et al. (2010) compared RZSM estimates from a LSP-DSSAT model linked to a forward microwave brightness (MB) model when assimilating TB and VSM observations at depths of 0-5cm for both synthetic and from MicroWEX-5 experiment at 6 a.m. EST every three days in 2006 covering a growing season of corn in North Florida. They used an EnKF-based algorithm and a Particle Filter (PF) based algorithm to conduct simultaneous state-parameter updates including RZSM and four soil LSP parameters when VSM is assimilated. In addition, TB and two microwave-model parameters: root mean square height and correlation length were considered when assimilating TB.

The assimilation of field observations shows additional errors in comparison to synthetic experiment. These additional errors are not included in uncertainties in forcings and parameters, and are produced by assumptions in the LSP-DSSAT-MB model. Fig. 3 shows the mean and standard deviation (SD) of the RZSM estimates provided by EnKF and PF when assimilating in-situ VSM observations. The comparison between these RZSM estimates shows that the PF produces estimates closer to the truth during the period of maximum vegetative growth (DoY 100 to DoY 115) (Fig. 3a), While similar improvements to RZSM estimates were provided by EnKF and PF over the entire season. For the parameter estimates, both the EnKF and PF produce similar trends, but the PF reacts quicker to changes in parameter within season (see Figs. 3b and 3c).

Fig. 4 shows the mean and standard deviation (SD) of the RZSM estimates provided by EnKF and PF when assimilating TB observations. The assimilation of passive observations shows that both the EnKF and the PF provide similar but reduced improvements to RZSM estimates over the entire season (see Figs 4a and 4b). As shown in Fig. 4b, temporal variations in filter performance are observed within the season. Assimilation of passive observations on DoY 88 and DoY 91 occurred during high precipitation events leading to poor RZSM estimates from both the EnKF and PF (Fig. 4b). After DoY 100, the difference between the RZSM estimates of the two filters is small, predicting similar estimates.

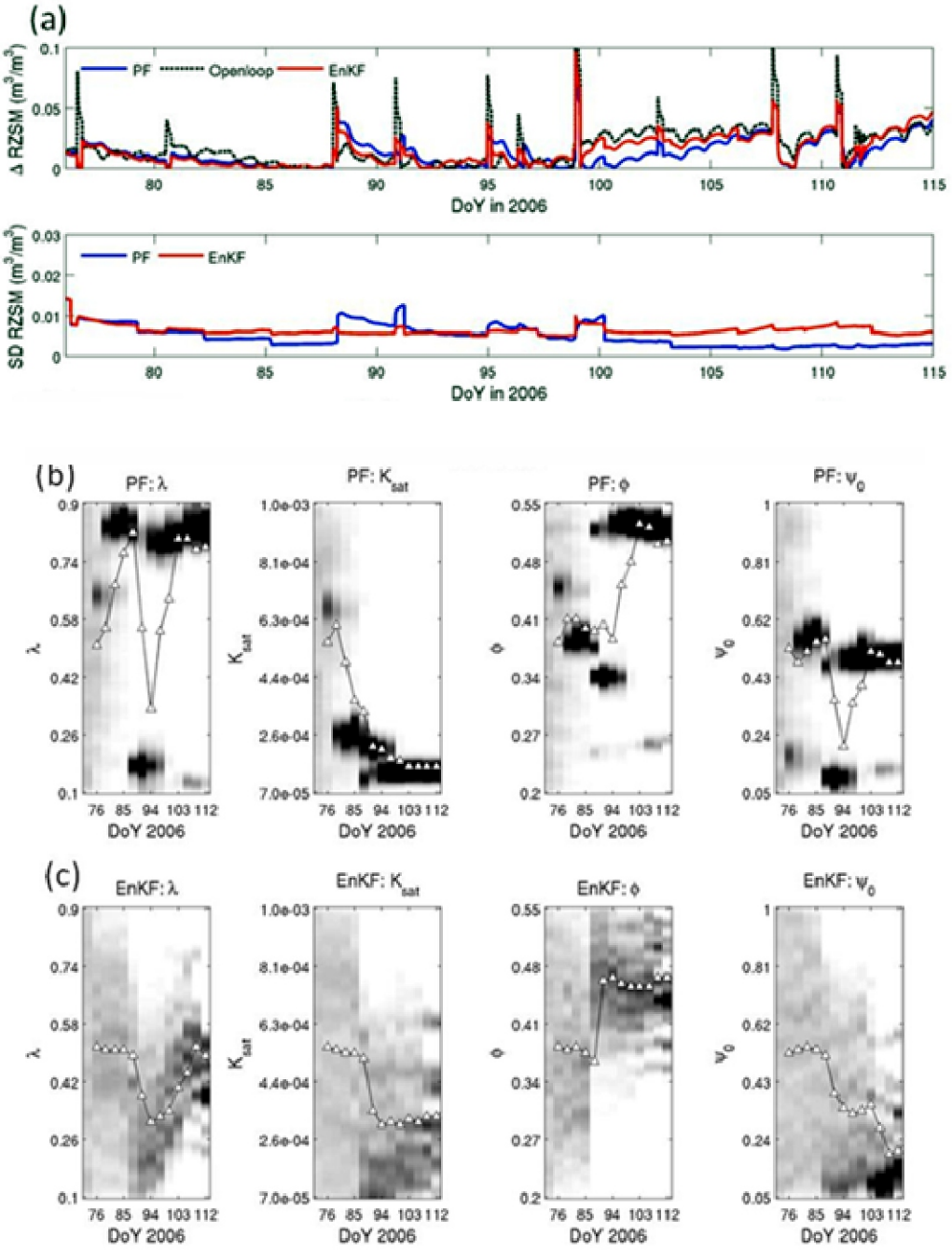


Figure 3. (a) Mean and SD of RZSM, and posterior parameter distributions estimated using (b) PF and (c) EnKF when MciroWEX-5 observations of VSM were assimilated (figure extracted from Nagarajan et al. (2010))

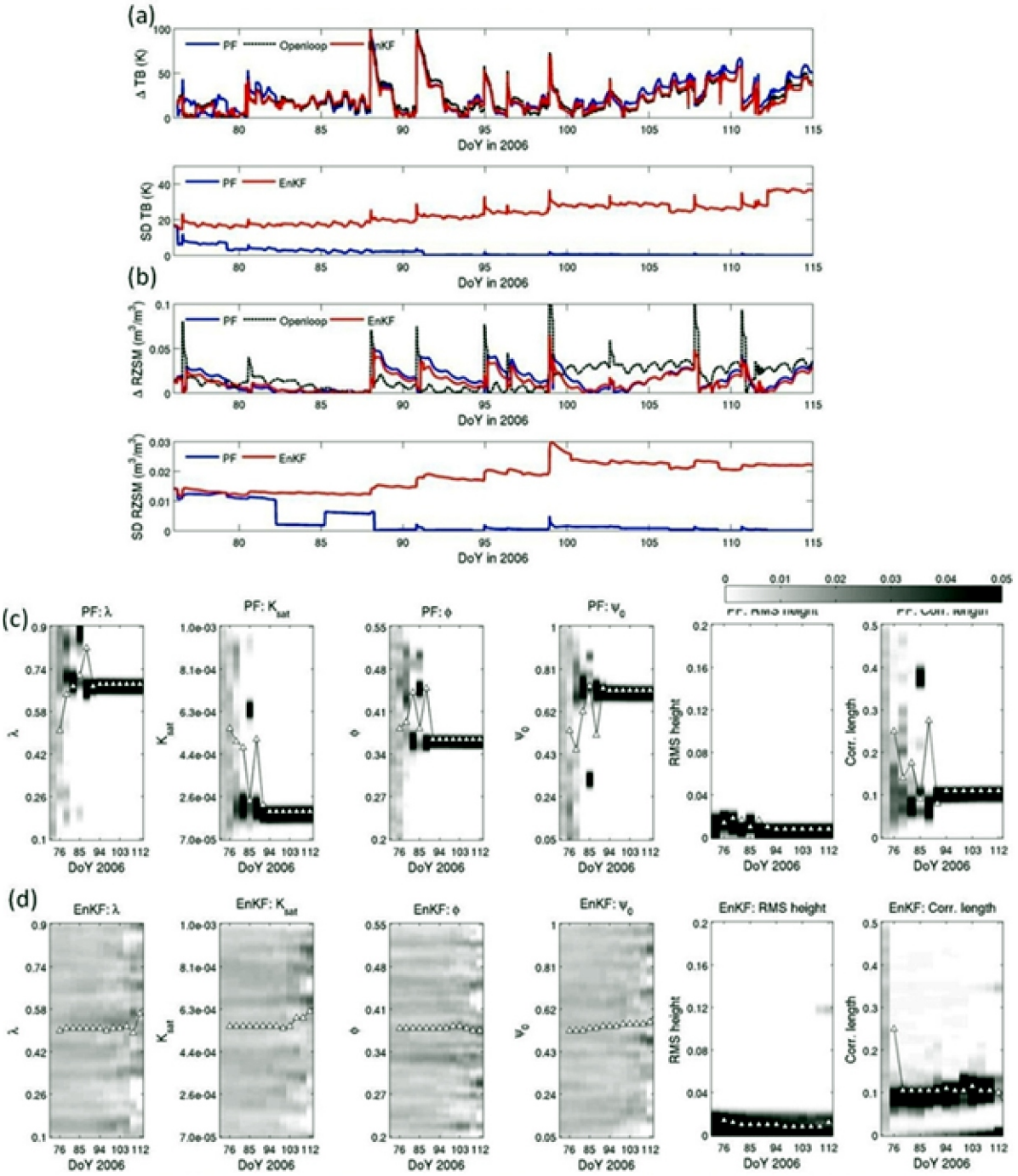


Figure 4. (a) Mean and SD of TB, (b) mean and SD of RZSM, and posterior parameter distributions estimated using (c) PF and (d) EnKF when MciroWEX-5 observations of TB were assimilated (figure extracted from Nagarajan et al. (2010)).

ESTIMATION OF SOIL MOISTURE PROFILE BY ASSIMILATING BRIGHTNESS TEMPERATURE OBSERVATIONS

Over the last decade, significant progress has been made in estimating near-surface soil moisture retrieved from active and/or passive microwave observations in SVAT models (Dunne et al. 2007). Even though both the active and the passive techniques observe radiation quantities that are functions of soil moisture, and exhibit similar sensitivities to soil water, σ0 is highly sensitive to soil surface roughness. These effects produce a much larger dynamic range in σ0 than that produced due to the effects of changes in soil water alone, making it challenging to recognize the contributions of soil water in the backscatter signal to obtain absolute soil water estimates. The active and passive (AP) microwave signatures provide complementary information regarding soil and vegetation. Studies that use both AP observations in the SVAT-Microwave models for assimilation are rare and recent. These studies typically utilize separate formulations for estimating terrain backscatter and emission. Because both the active and passive signatures are function of geometric and dielectric properties of soil, an integrated AP modeling approach is critical to achieve assimilation with biophysically realistic updates of the model states and parameters. Such integrated approach is also necessary to ensure robustness when assimilating both asynchronous (e.g. SMOS and ALOS/PALSAR) and synchronous (e.g. SMAP) AP observations, in operational use.

Monsivais-Huertero et al. (2010b) compared RZSM estimates from a coupled LSP-AP model when assimilating synthetically generated TB, ?0 and top 5 cm soil moisture (VSM0-5cm) observations at 6 a.m. every three days during bare-soil conditions. As shown in Table I, the assimilation of active and/or passive observations reduces the RMSE and ASD by 0.06-0.83 and 0.66-1.47%VSM, respectively, than the open-loop simulation. The simultaneous state-parameter update provides estimates closer to the observations than the state-only updates. When estimating state-only, the lowest RMSD and ASDRZSM were obtained with assimilation of combined AP (TB,h + ?0hh) observations and when estimating simultaneously states and parameters, the assimilation of combined AP observations resulted in similar RMSD and ASDRZSM as in-situ VSM0-5cm. From this study, it is conclude that the assimilation of TB,h + ?0hh showed similar results as the assimilation of VSM0-5cm .

Table I. Root mean square differences (RMSD) and average standard deviations of RZSM (ASDRZSM) (m3/m3) when assimilating VSM0-5cm, TB,h, ?0hh, and TB,h+?0hh observations

Scenario	States-only		State-parameters		Open loop	
	RMSD	ASD_{RZSM}	RMSD	ASD_{RZSM}	RMSD	ASD_{RZSM}
$VSM_{0\text{-}5cm}$	0.0099	0.0140	0.0053	0.0062	0.0136	0.0209
$T_{B,h}$	0.0115	0.0143	0.0036	0.0120	0.0136	0.0209
$□^0_{hh}$	0.0130	0.0138	0.0124	0.0133	0.0136	0.0209
$T_{B,h}+□^0_{hh}$	0.0075	0.0108	0.0066	0.0065	0.0136	0.0209

SUMMARY

This paper presents an overview of different works focused on the soil moisture estimation by assimilating active and/or passive microwave observations. Accurate knowledge of RZSM is crucial in hydrology, micrometeorology, and agriculture for estimating energy and moisture fluxes. These fluxes are typically estimated by using SVAT models. Although SVAT models capture the biophysics of the landscape, RZSM estimates still diverge from the reality due to different source of errors in the models. Several frameworks, estimating soil moisture, are EnKF-based algorithms and update simultaneously states and parameters by assimilating active and/or passive microwave observations. Studies show that an optimal frequency time assimilation to improve soil moisture estimates is every 3 days. The assimilation of microwave observation improved significantly the RZSM estimates as compared to the open-loop simulations, with an average root mean square difference (RMSD) of 0.66 %VSM (51% of RMSD in open loop). Recent studies have shown that the assimilation of combined active and passive observations resulted in the lowest RMSD with observations of 0.66 %VSM. In contrast, the assimilation of only active observations resulted in the highest RMSD of 1.24 %VSM.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the research project SIP 20100978 of the National Polytechnic Institute, Mexico.

REFERENCES

Casanova, J. J., Judge, J., 2008. Estimation of energy and moisture ?uxes for dynamic vegetation using coupled SVAT and crop-growth models. Water Res. Research 44 (W07415), doi:10.1029/2007WR006503.

Chaubey, I., Hann, C. T., Grunwald, S., Salisbury, J. M., 1999. Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall. J. Hydrology 220, 48–61.

Crow, W. T., Chan, S. T. Z., Entekhabi, D., Houser, P. R., Hsu, A. Y., Jackson, T. J., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Shi, J., Zhan, X., 2005. An observing system simulation experiment for hydros radiometer-only soil moisture products. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 43 (6), 1289–1303.

Crow, W. T., Kustas, W. P., Prueger, J. H., 2008. Monitoring root-zone soil moisture through the assimilation of a thermal remote sensing-based soil moisture proxy into a water balance model. Remote Sens. Env. 112 (4), 1268–1281.

Entekhabi, D.; Njoku, E.; O'Neill, P.; Spencer, M.; Jackson, T.; Entin, J.; Im, E.; Kellogg, K., 2008, The Soil Moisture Active/Passive Mission (SMAP), Proc. IGARSS 2008, Boston, USA, pp. III–1 – III–4.

Dunne, S.C.; Entekhabi, D.; Njoku, E.G., 2007. Impact of Multiresolution Active and Passive Microwave Measurements on Soil Moisture Estimation Using the Ensemble Kalman Smoother, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing 45 (4), 1016–1028.

Monsivais-Huertero, A., Graham, W. D., Judge, J., Agrwal, D., 2010, Effect of simultaneous state–parameter estimation and forcing uncertainties on root-zone soil moisture for dynamic vegetation using EnKF. Adv Water Resour, doi:10.1016/j.advwatres.2010.01.011

Monsivais-Huertero, A., Judge, J., Nagarjan, K., 2010b, Assimilation of active/passive microwave observations at L-band to estimate root zone soil moisture. Proc. IGARSS 2010, Honolulu, USA.

Moradkhani, H., Sorooshian, S., Gupta, H. V., Houser, P. R., 2005. Dual state-parameter estimation of hydrological models using Ensemble Kalman ?lter. Adv. in Water Res. 28 (2), 135–147.

Nagarajan, K.; Monsivais-Huertero, A.; Judge, J., Graham, W.D., 2010, Assimilating passive microwave observations for improved estimation of root-zone soil moisture under dynamic vegetation conditions using particle filter. Proc. MicroRAD 2010, Washingto D.C., USA

Pauwels, V. R. N., Verhoest, N. E. C., De Lannoy, G. J. M., Guissard, V., Lucau, C., Defourny, P., 2007. Optimization of a coupled hydrology-crop growth model through the assimilation of observed soil moisture and leaf area index using an ensemble Kalman ?lter. Water Res. Research 43 (W04421), doi:10.1029/2006WR004942.

Reichle, R. H., Crow, W. T., Kepenne, C. L., 2008. An adaptive ensemble kalman ?lter for soil moisture data assimilation. Water Res. Research 44 (W03423), doi:10.1029/2007WR006357.

Cambios en el uso actual de la tierra y cobertura vegetal en la península de Paria – estado Sucre, Venezuela y su relación con la incidencia malárica

Laura Delgado (1), Deicy Garcés (2), Santiago Ramos (1), Alberto Camardiel (3) y Francisco Marichal (1)

(1) Universidad Central de Venezuela, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Laboratorio SIMEA, , franciscomarichal3@gmail.com
(2) Universidad Central de Venezuela, Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Unidad de Servicio de Sistemas de Información Geográfica, Venezuela.deicynairgarces@yahoo.es
(3) Área de Postgrado en Estadística y Actuariado, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela. acamar09@gmail.com

RESUMEN

En Investigaciones recientes se ha reportado que el hombre y su actividad como elementos del paisaje son determinantes de la persistencia de enfermedades como la malaria en algunas regiones del país, en particular se hace referencia a la región de Paria en el estado Sucre, Venezuela. En el presente trabajo se evaluó el cambio de la vegetación en dos escenas LANDSAT TM 5 y ETM 7 + de esta zona, con una diferencia temporal de 10 años. A fin de obtener información de la cobertura vegetal y los usos de la tierra, se aplico el método de interpretación visual de imágenes satelitales. Mediante la interpretación visual con un entrenamiento previo se minimizaron ambigüedades en el reconocimiento. Los resultados evidencian cambios drásticos de algunas formaciones vegetales, fundamentalmente en las unidades de bosques, matorrales, manglares apareciendo alteraciones del patrón natural, debido usos de la tierra, como pequeños parches que tienden a fraccionar el bosque, incrementar las mancha de matorrales, correspondiendo a estados serales secundarios. A través del análisis espacial, sobreponiendo el modelo espacial de incidencia malárica del año 1992 con el resultado de la interpretación de la imagen del mismo año, encontramos relación entre las zonas con mayor intensidad de casos (focos) y aquellas zonas en donde hay mayor actividad agrícola. Diez años después, se mantiene la malaria en Paria y se ha identificado un corredor epidemiológico en esta zona, y que probablemente una de las causas de su origen esté en las actividades derivadas del quehacer humano, así como también en la plasticidad con la que el vector se adapta a los cambios provocados por el hombre. Sin embargo, se pudo observar la estabilidad de otras formaciones vegetales que aún se aprecian con un bajo impacto antrópico y algunas con ningún cambio representativo en su cobertura.
Palabras claves: Malaria, Vegetación, Ecoepidemiología, Sensores Remotos

ABSTRACT

Man and his activities have been reported in resent studies as responsible for landscape factors favoring persistence of some diseases as malaria. In some region of the country, particularly it had been pointed the Paria region at the North-East of the State of Sucre, Venezuela. The present paper evaluates the change of vegetation between two satellite images, Landsat TM 5 and ETM 7+ of the zone, achieving a temporal difference of ten years. With the objective of gather information of vegetal cover and land uses, there was applied visual interpretation out of satellites images, with a previous training to minimize ambiguities on features recognition. Results pinpointed drastic changes in some vegetal units, mainly in forest, brushes and mangroves units appearing alteration of the natural landscape pattern, due to the land uses. Small patches appear as result of forest units' fractioning with the consequence of secondary brushed vegetation patches. Through spatial analysis, there was overlapped the pattern of malaria cases widespread of the zone for 1992 on the interpreted satellite image of the same year, it allowed to establish a relationship between malaria foci and land units with greater agricultural activities. Ten year later malaria prevalence in Paria and a called epidemiological corridor has been delimited in this zone. This kind of man activity may be one of the main causes of malaria prevalence, but also plasticity of the mosquito vector to adapt to changes man caused in the environment conditions may explain this result. Nonetheless, there was observed stability in some other vegetal units that still remain under low anthropic impact, and some of them with no representative changes in their covers.
Key word: Malaria, vegetation, ecoepidemiology, remote sensing

INTRODUCCIÓN

Conocer el contexto especial donde se desarrollan las enfermedades transmitidas por vectores es muy importante, ya que permite identificar, no solo elementos del paisaje vinculados a patrones asociados a la presencia de éstas enfermedades en algunas zonas, sino también aquellas variables ambientales, socioeconómicas y culturales que son determinantes para que una enfermedad este o no en

un área (Delgado y col., 2007, 2008). La ecología de paisaje con su enfoque holístico contribuye a que nos aproximemos mejor a la comprensión de estos sistemas complejos y multifactoriales (Delgado y col., 2003, Keating y col., 2003). Igualmente, ayuda a explorar, cuáles de estas variables afectan, la dinámica de algunas de estas enfermedades como malaria, Chagas, dengue, fiebre amarilla, encefalitis, y otras enfermedades infecciosas similares.

El hombre y su actividad como elemento del paisaje juega un papel importante en la persistencia de enfermedades como la malaria (Delgado y col., 2006a, 2008). Ejemplos de estos procesos antropogénicos son la tala, la quema, la deforestación y el cambio de uso de la tierra. Los cuales aunados a la gran flexibilidad para adaptarse a dichos cambios que tienen los vectores transmisores, ejemplo de ello es el vector de malaria en el estado Sucre Anopheles aquasalis, incrementan el riesgo de las comunidades que habitan estas áreas. Casos como este lo reportan Butler (2006) y Olson y col., (2010) quienes consiguen una relación positiva entre la malaria y el proceso de cambio en los usos de la tierra, incluyendo la deforestación y el cambio en la topografía local del terreno, entre otros, que se están dando en diferentes lugares del neotrópico, tal es el caso de la Amazonía Brasilera.

Los objetivos de este trabajo son mostrar que existe una relación entre las modificaciones en los patrones de vegetación como resultado de acciones antropogénicas (la agricultura, la tala, cambios de uso de la tierra, etc.) y la persistencia de la malaria en la región de la península de Paria, estado Sucre, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio está localizada en la zona nororiental de Venezuela, ubicada, específicamente entre los meridianos 61° 50´ 44´´ y 64° 30´ 00´´ W y los paralelos 10° 13´ 10´´ y 10° 44´ 10´´ N, constituida por el estado Sucre y cuenta con una superficie de 11.800 Km² (Figura 1). Tal como lo describen Delgado y col., (2004, 2007), Delgado (2005a) y (Delgado y Córdova, 2007) este estado presenta una alta heterogeneidad espacial y climática. Esta heterogeneidad juega un papel importante en la manera cómo actúan las diferentes variables ambientales y aquellas inherentes a la dinámica de las poblaciones del vector (número de larvas, densidad de larvas y de adultos, etc.) así como también las socioeconómicas y culturales en cuanto a la expresión espacial diferenciada de la incidencia malárica (Delgado y col., 2006a, 2008) en este estado. El área donde nuestra investigación hace mayor énfasis es la península de Paria. Delgado y col., (2003) reportan que esta península se caracteriza por tener dos vertientes, la norte definida por costas abruptas de inmersión y la del sur conformada por una superficie fluvio marina de bajas alturas y poca pendiente (entre 0-2% y 2-5%), todas estas variables confluyen en una resultante natural como es la presencia de humedales, áreas inundables estacionales o permanentes entre 0 y 100 msnm que resultan de la acumulación y retención de agua de lluvia y de drenaje superficial. La vegetación también es diversa y se encuentran en el área desde bosques húmedos y bosques de manglares pasando por herbazales y zonas con fuerte impacto agrícola.

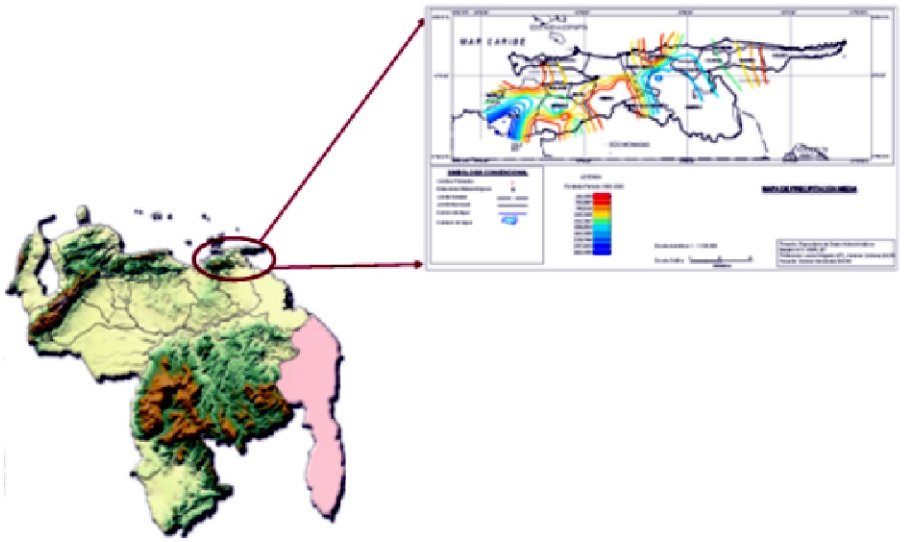


Figura 1. Ubicación relativa del estado Sucre. Mapa temático mostrando las Isoyetas

Datos Epidemiológicos
Los datos epidemiológicos para los años de 1992 y 2002 fueron suministrados por Malariología (dependencia del antiguo Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, SAS, ahora Ministerio del Poder Popular para la Salud, MPPS) y el organismo regional de Salud del estado, Fundasalud Sucre. Para llevar a cabo los análisis estadísticos entre los casos de malaria y la variable potencial empleo agrícola se uso el SPSS v.17.0.

Modelo Espacial de la Incidencia Malárica (MEIM)
El modelo espacial de la incidencia malárica se generó a partir de superficies sobre la base del número de casos de malaria, se hizo para cada año estudiado, en se realizó con el software PCMS (Zmap), versión 2.1.1, desarrollado por Zyper, (Delgado y col., 2001) y con Vertical Mapper versión 3.2 de Map Info y ArcGIs versión 9.2.

Dinámica de la Incidencia Malárica (DIM)
La generación del Modelo de Incidencia de la malaria (DIM), tal como lo describen Delgado y col., (2001), para cada año de los estudiados, lo cual nos permitió conocer la dinámica de la enfermedad y observar los focos y su actividad.

Procesamiento digital de Imágenes
Se utilizaron dos imágenes de satélites, una proveniente del satélite Landsat-5 TM, PATH 1 ROW 53, de Octubre 1992, con 30 m de resolución espacial, de la Universidad de Maryland, USA, para la elaboración del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra para ese año y la otra imagen del satélite Landsat-7 ETM +, PATH 1 ROW 53, de Febrero 2002, con 30 m de resolución espacial también tomada de la base de imágenes de la Universidad de Maryland, USA, para la elaboración del mapa de cobertura/uso de la tierra para ese año. Se utilizaron las combinación de bandas 4, 5,3, en ambos casos, la cual permite identificar las formaciones de vegetación e identificar los sitios donde se han dado cambios asociados con el uso de la tierra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cambios globales que están ocurriendo en nuestro planeta están impactando fuertemente los sistemas naturales. El hombre como elemento del paisaje está contribuyendo a la aceleración de estos procesos como consecuencia de sus actividades (antropogénesis) como la tala, la quema, la desforestación y los cambios de uso de la tierra entre otros. Estas actividades a su vez, tal como lo reportan Delgado y col., (2006a, b, 2008) y Butler (2009), tienen un marcado efecto sobre la salud humana, no solo en los estados Sucre y Bolívar en Venezuela, así como también en la amazonia Brasileña, dado que tales cambios contribuyen a la estabilización de algunas enfermedades infecciosas, en particular aquellas transmitidas por vectores, como la malaria. Pero no solo la antropogénesis tiene un efecto sobre la dinámica de la malaria en el estado Sucre, también hay una respuesta espacial diferenciada de su incidencia, relacionada con la heterogeneidad espacial y climática. En este sentido al observarse la Figura 2, se puede apreciar el gradiente de humedad producto de la distribución de la precipitación sentido este-oeste, Guiria-El Pilar.

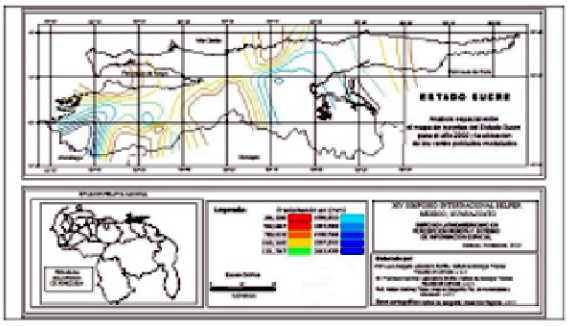


Figura 2. Mapa temático de Isoyetas. Mostrando gradiente de humedad en el sentido Guiria-El Pilar

Delgado (2005b) reporto que el análisis espacial entre las coberturas de potencialidades de empleo agrícola y el Modelo Espacial de Incidencia Malárica (MEIM) para el año 1999 (Figura 3), evidencia una relación positiva y significativa ($r=0.744$, $p<0.01$) entre la incidencia malárica y los municipios con alta potencialidad de actividad agrícola, tales como en los municipios Cajigal y Benítez, por ejemplo.

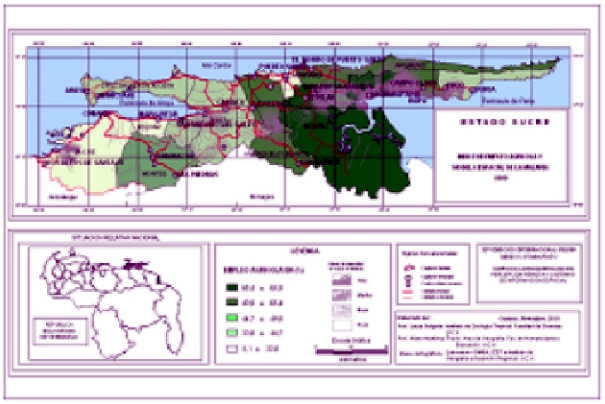


Figura 3. Mapa temático mostrando relación espacial entre el MEIM para el año 1999 y las potencialidades de empleo agrícola

Esta relación se pone en evidencia de nuevo, cuando hacemos el análisis espacial entre el MEIM para los años 1992 y 2002, y las coberturas que contienen las unidades de vegetación, obtenidas a través del procesamiento y la interpretación digital de las imágenes correspondientes a esos años. En este sentido, las unidades de vegetación resultantes de la interpretación de la imagen 1992, indican una dominancia de la cobertura de vegetación tipo matorral (1621,94 Km2), Bosque (1315,11 Km2), Manglar (1116,17 Km2), seguido por herbazales (466,2396 Km2), herbazales inundables (170,00 Km2), sabanas (150,21 Km2)y bosques de galerías (80,37 Km2) respectivamente. Cuando se analizan los resultados para el año 2002, se observa un resultado interesante, la unidad matorral (1603,79 Km2) disminuyó en diez años su superficie en 18,15 Km2, pero sigue dominante, luego le sigue la unidad de manglar (1437,50 Km2) a la cual se le aprecia un aumento en su superficie a 321,33 Km2, lo que probablemente se deba a procesos de conservación debido a la cercanía de estas unidades de manglar, a un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) como es el parque Nacional Teruépano, ya que una parte de la población de Yaguaraparo está contenida dentro del área decretada como parque nacional, le sigue el bosque (584,83 Km2), el cual se ve que está siendo severamente impactado por el cambio de uso de la tierra, probablemente esta reducción se deba a que en esas zonas del estado Sucre, se están desafectando los cultivos de café y cacao, porque es más rentable el comercio de las rolas de madera de los árboles que dan sombra al cacao, como es el caso de los árboles del género Erythrina. Igualmente está pasando con los bosques de galería hay una disminución de esta unidad, para el año 2002, en 50,96 Km2. La unidad herbazal (192,95 Km2) y el herbazal inundable (155,63 Km2) también disminuyeron, al igual que el área cubierta con las sabanas (47,57 Km2), el bosque de galerías (29,41 Km2) y las dedicadas a la actividad agropecuaria (14,7958 Km2). Otra unidad que también se vio afectada es la relacionada con el área urbana (AU), dado que el crecimiento poblacional, parece ser lento, consistente con la descripción de esta área que hacen Delgado y col., (2004, 2006a, 2008), desde el punto de vista socioeconómico, como un área deprimida con un índice de desarrollo humano (IDH) de 0.51, lo que tipificaba al estado Sucre para el año 2001, con un desarrollo mediano bajo. Es decir, que las personas de esas zonas se mueven buscando mejoras en muchos aspectos y esta movilidad tiene mucho que ver con la dispersión y mantenimiento de la malaria en el área. Desde el punto de vista epidemiológico, los casos de malaria estaban en el orden de 195 casos, considerando el total de casos aportado por los municipios Arismendi, Benítez, Cajigal, Libertador, Mariño y Valdez. Para el año 2002, año en el cual se observó la fuerte pérdida de la cobertura vegetal en la unidad bosque, la cual se redujo en 730,28 Km2, se registraron casos de malaria por el orden de 433. El análisis espacial entre la cobertura temática de vegetación para el año 1992 y el Modelo espacial de Incidencia Malárica (focos) para el mismo año (Figuras 4 y 5) indica relación entre los focos de malaria y el municipio Cajigal, municipio con mayor actividad agrícola y mayor grado de intervención, todas la unidades interpretadas en él están relacionadas con la intervención que va desde moderadamente intervenido hasta fuertemente intervenido.

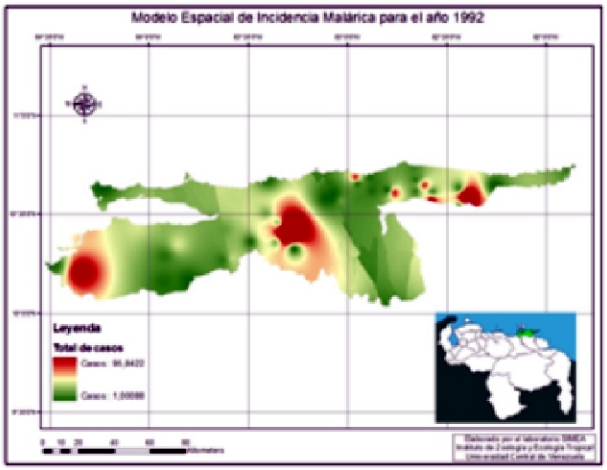


Figura 4. Modelo Espacial del Incidencia Malárica para el año 1992

Los otros dos focos que se observan al norte de la zona de estudio, en el municipio Arismendi, a pesar de estar en la vertiente norte, que son costas abruptas, están relacionados con zonas bajas y de poca pendiente (Delgado y col., 2003), pero esta doble condición de altura y pendiente, es producto de la intervención humana, a fin de adecuar el área como atracción turística, y modifican el entorno espacial generando lugares que pudiesen ser potenciales criaderos del vector de la malaria en la zona, como son los alrededores de la población de Río Caribe y las playas de Puy Puy y playa Medina. En este municipio dominan las unidades matorral denso con actividad agropecuaria fuertemente intervenido y sabanas abiertas y luego están el bosque bajo denso y bajo medio levemente intervenido.

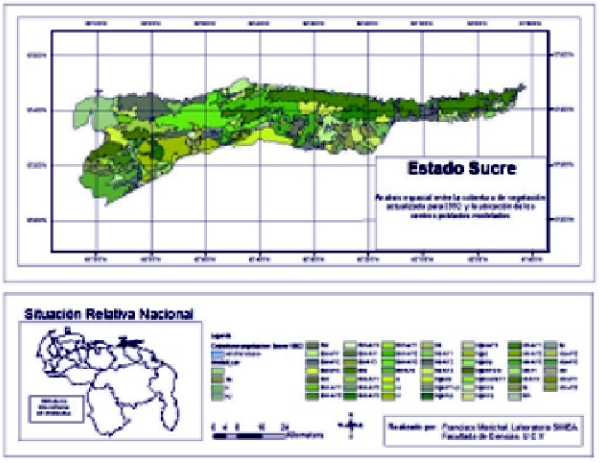


Figura 5. Mapa temático con las unidades de vegetación interpretadas para el año 1992

En la figura 6 se puede apreciar la distribución de casos de malaria para el estado Sucre, el tono Marrón-rojizo intenso representa el foco del municipio Cajigal, y los tonos naranjas y amarillos muestran las regiones con un de número de casos de malaria que van desde 12 hasta 273 casos, de nuevo en la región de Paria se revela el corredor epidemiológico reportado por Delgado y col. (2008). En la figura 7 observamos, que donde está identificado el corredor epidemiológico, hay áreas donde se ha evidenciado perdida de la cobertura de bosques de galerías y de bosques medios, provocando un fraccionamiento de la matriz arbórea. Así mismo, se observa la presencia de numerosas unidades de herbazal inundable, lo que pudiesen considerarse parches. Todas las unidades de vegetación señaladas tienen la connotación de fuertemente a moderadamente intervenidas. Es decir, que sigue vigente lo reportado por Delgado y col., (2006a, 2008) sobre el hombre y su actividad como elementos del paisaje y su efecto sobre la persistencia de la malaria en la península de Paria, así como también lo relacionado a la flexibilidad del vector para adaptarse a estas nuevas situaciones. Igualmente, se puede ver que se ha incrementado la superficie dominada por el manglar, sobre todo cerca de la desembocadura del río Yaguaraparo y del caño Ajíes, debido a la protección que le otorga el tener una parte inmersa dentro de un parque nacional.

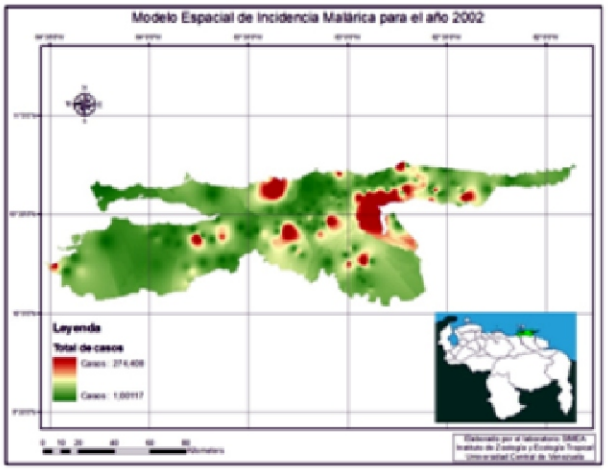


Figura 6. Mapa temático mostrando los focos de Malaria para el año 2002

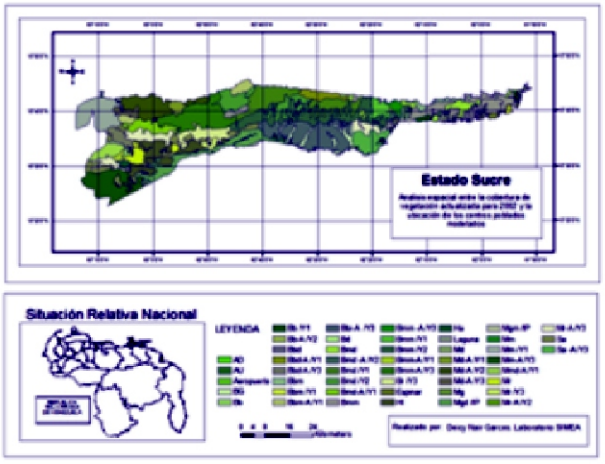


Figura 7. Mapa temático con las unidades de vegetación interpretadas para el año 2002

En este sentido estamos de acuerdo con lo reportado por Cox (2009) y Butler (2009) que consideran que una excelente medida de prevención de las enfermedades como la malaria, está muy relacionada con medidas de conservación de los sistemas naturales. Cox (2009) plantea que es posible a través del monitoreo de datos medio ambientales, observando cambios en la superficie terrestre, con las imágenes de satélites, se puede hacer prevención y generar advertencias específicas sobre alteraciones, desde el punto de vista geográfico, que modifican el patrón natural y que pueden estar relacionadas con epidemias.

CONCLUSIONES

La relación espacial entre la incidencia de la malaria y los cambios en la vegetación, está fuertemente ligada a modificación de los patrones de usos de la tierra, lógicamente es la vegetación el primer compartimiento donde se reflejan estos cambios. A su vez estos cambios parecen estar favoreciendo las condiciones para la estabilidad de las poblaciones del vector An. aquasalis,

Durante el periodo de cambio, sobre el cual se ha realizado el estudio comparativo, es evidente que está ocurriendo un fenómeno de fraccionamiento, dirigido por la actividad antrópica, la aparición de cuerpos de agua artificiales, para usos de almacenamiento temporal o por modificación de la topografía local, están contribuyendo a mejorar la conectividad entre unidades de paisajes que contienen el vector, este es un cambio espacial que ecológicamente contribuye a la estabilidad de las poblaciones del vector, contribuyendo a facilitar la propagación de la malaria y a su persistencia, aún en lugares donde históricamente no se habían registrados brotes de la enfermedad.

A medida que los cambios de usos de la tierra alteran la vegetación surge un nuevo patrón de la misma, sin embargo, aún ese cambio no se hace evidente, pues las aéreas más impactadas están alrededor de los centros poblados y los ejes de caminos y carreteras que el hombre ha ido creando, en la mayoría de los casos estos están en las zona bajas y de poca pendiente, sin embargo, son estas zonas donde se concentra el mayor número de humedales y de ahí el hecho que se ha favorecido a la malaria, hasta el punto del surgimiento de un corredor o zona permanente de expresión de la malaria, aun cuando sistemáticamente se realizan controles sobre la enfermedad en todo el estado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) por el financiamiento del proyecto CDCH 03-31-3981-2005, al FONACIT, por el financiamiento del proyecto UCV-2001001850 y del proyecto Hidroclimáticos G-2005000184 a través del BID-FONACITII. Igualmente, agradecemos a todo el personal de la Zona 11, Malariología, Carúpano (Fundasalud-Sucre) de manera especial al técnico Adelso Malavé, al Ing. Luis Díaz y al Dr. Darío González por su soporte durante el desarrollo de nuestros proyectos y al profesor Néstor Martínez quién nos apoyó en el manejo de las variables socioeconómicas y los aspectos cartográficos.

BIBLIOGRAFÍA

Butler R, 2006. http://es.mongabay.com/news/2006/0202-malaria.html
Cox J Mejor vigilancia: clave para alerta temprana de malaria http://www.scidev.net/es/opinions/mejor-vigilancia-clave-para-alerta-temprana-de-mal.html
Delgado L, Ramos S, Rodríguez R. y Liberal L. 2001. Modelo Espacial de la Probabilidad de Riesgo Malárico en el Edo. Sucre, Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Vol. 16, (2) pp: 15-26
Delgado. L, Ramos S, Martínez N y García P. 2003. Ecología de Paisajes, Sensores Remotos y Sistemas De Información Geográfica: Nuevas Perspectivas Para El Manejo De Problemas En Salud Pública, Caso Particular La Malaria en el Estado Sucre, Venezuela. Acta Científica Estudiantil, 1: 128-142
Delgado L, y Martínez N. 2004. Relevancia De La Variable Socioeconómica Actividad y Empleo Agrícola En La Dinámica De La Malaria. Estado Sucre Venezuela. XI Simposio Latinoamericano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER). Santiago de Chile, Chile, Memorias Selper en formato digital.
Delgado Laura. 2005a. La Dinámica Espacio-Temporal del Sistema Malaria en el Foco Nor-Oriental de Venezuela. Acta. Biol. Venez. Vol 25 (1-2) pp: 57-66
Delgado Laura. 2005b. "Ecología de Paisajes, Antropogénesis y Malaria". Revista Journal Selper Edición Especial Vol.20 (1). Pp: 24-33.
Delgado. L, Ramos. S, Martínez. N, Camardiel A. 2006a. Tecnologías Geoespaciales y su Utilidad en la Reducción de la Vulnerabilidad. Caso Especial Malaria. Sucre-Venezuela. XII Simposio Latinoamericano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER). Cartagena, Colombia, Memorias Selper en formato digital.
Delgado L, Camardiel A, Martínez N y Ramos S. 2006b. "Variables Socioeconómicas, Antropogénesis y Malaria, Caso de estudio: El estado Bolívar, Venezuela". Revista Científica de la Coordinación General de investigación y Postgrado de la Universidad Experimental de Guayana. Revista Copérnico. Año III Nº 5, pp: 53-60
Delgado L y Córdova K. 2007. La importancia de la variabilidad climática en el manejo de enfermedades metaxénicas: malaria en el Estado Sucre, Venezuela. XI Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (XI CONFIBSIG). Memorias en formato digital.
Delgado L, Ramos S. 2007. The Remote Sensing Perspective to Focus Landscape Ecology, the Anthropogenic Action and the Malaria Disease. Space Technology for E-health. Space Technology-based Telehealth project initiatives in Latin America and the Caribbean. Edited by United Nations Programme on Space Applications. United Nations, New York. 60 pp.
Delgado L, Camardiel A, Aguilar VH, Martínez. N, Córdova K, y Ramos. S. 2008. Tecnologías Geoespaciales: Herramientas para la Determinación de un Corredor Epidemiológico de Malaria, Estado Sucre, Venezuela. XIII Simposio Latinoamericano en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial (SELPER) y en el II Taller de Percepción Remota y SIG en Estudios de Salud. La Habana, Cuba, Memorias Selper en formato digital
Keating J, Macintyre K, Mbogo C.h, Githeko A., Regens JL, Swalm Ch, Ndenga B. Steinberg, LJ, Kibe L, Githure JI, Beier JC. 2003. A geography sampling strategy for studing relationships between human activities and malaria vectors in urban areas. American Journal and Tropical Medicine and Hygiene. Vol 68: 357-365
Olson SH, Gangnon R, Silveira G, Patz JA. 2010. Deforestation and malaria in Mâncio Lima County, Brazil. Emerg Infect Dis. Pp: 1-18

Cambio en la cobertura y uso de suelo y evaluación del paisaje en el monumento natural Cerro de la Silla, Nuevo León, México

Martha Patricia Vela Coiffier (1) y Diego Fabián Lozano García (2)

(1) Investigadora del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Ave. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Monterrey N. L. CP 64849 e-mail: pvela@itesm.mx Tel. (81) 83 58 2000 ext. 5288
(2) Coordinador del Laboratorio de Sistemas de información Georreferenciada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Ave. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Monterrey N. L. CP 64849 e-mail: dflozano@itesm.mx Tel. (81) 83 58 2000 ext. 5288

RESUMEN

El Monumento Natural "Cerro de la Silla" cubre una superficie de 6,038.79 has, en 1975 esta área estaba compuesta principalmente por matorral submontano y bosque de encino. El matorral submontano cubría una superficie de aproximadamente 3900 has y el bosque de encino un poco mas de 2,000 has. Además de pequeñas aéreas de agricultura de temporal, pastizal inducido, vegetación de galería y matorral desértico rosetofilo. El crecimiento de la ciudad de Monterrey ha impuesto una gran presión sobre los ecosistemas del monumento. Para determinar el cambio en la cobertura y uso de suelo desde 1975 al presente en los tipos de vegetación que se presentan en el Monumento Natural, se clasificó una imagen de satélite Landsat ETM del 2003 en donde se obtuvieron 15 clases, que fueron comparadas con las clases de 1975. Para el análisis de paisaje, se tomaron en consideración además de la cobertura y uso de suelo del 2003, diversas capas temáticas. En estos cálculos se consideraron únicamente las categorías de cobertura de suelo terrestres, los cuerpos de agua fueron excluidos del análisis. Para cada una de las unidades de evaluación del paisaje se obtuvieron las siguientes métricas: Características de la cobertura de suelo, Fragmentación, Características de los escurrimientos y Características físicas. Como unidad de análisis se tomaron las nano cuencas definidas para el área del monumento natural, por lo estas se denominaron dentro del texto como Unidades de Evaluación del paisaje (UE). Los resultados muestran patrones de alteración altamente asociados con los procesos de desarrollo urbano de la periferia del monumento, mientras que las condiciones ecológicas en la parte central del mismo se han mantenido razonablemente constantes.
Palabras Clave: Cambio uso de suelo, evaluación del paisaje.

ABSTRACT

The Cerro de la Silla Natural protected area covers an area of 6,038 Ha, in 1975 it was covered mainly of submontane shrub and oak forest. The submontane shrub covered approximately 3,900 Ha, while the oak forest occupied an area of around 2,000 Ha. There were also some agricultural areas, pasturelands, riverine vegetation, and desert shrub. The city of Monterrey, surrounds part of the protected area and it has created a major pressure over the vegetation of the area. To determine the rate of land cover change in the protected area, from 1975 to the present, we classified a 2003 Landsat-TME image in which we obtained 15 cover classes that were compared to the existing 1975 photo interpreted land cover classes. In the landscape analysis carried out, we used besides the 2003 classification, other thematic layers. In the landscape analysis we only considered only terrestrial land cover classes, thus water categories were eliminated. For each of the landscape evaluation units, we calculated the following landscape metrics: land cover characteristics, fragmentation, river characteristics and physical conditions of the areas. We used catchments as the unit of analysis and we named then Landscape Evaluation Units (UE). The results show the patterns of alteration of the landscape, highly associated with urbanization in the limits of the protected area, while ecological conditions in central portion of the protected area, have remained reasonably steady during the study period.

INTRODUCCIÓN

El "Cerro de la Silla" fue decretado como Monumento natural el 26 de abril de 1991. El monumento tiene una superficie de 6,038.79 has y es considerado histórica y culturalmente como el símbolo representativo de la Cd. de Monterrey. Se encuentra localizado en la porción noroeste de la Sierra Cerro de la Silla. Se encuentra localizada entre los 100°16´25" y 100°13´25" de longitud Oeste y los 25°39´50" y 25°37´40" de Latitud Norte. Limita al norte con los municipios de Monterrey, Guadalupe y parte de Juárez, al Este por áreas agrícolas y ganaderas de los municipios de Juárez y Cadereyta, al Oeste por el cañón del Huajuco principalmente en el Municipio de Santiago, y al sur por el ANP Sierra "Cerro de la Silla".
El monumento se encuentra dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y forma parte

de la Sierra Cerro de la Silla ubicada al sureste de la ciudad de Monterrey, esta sierra tiene una dirección noroeste-sureste y su altitud varía de los 520 a los 1,821 m. Esta sierra constituye una fuente de recarga de los mantos acuíferos que abastecen a los pozos de suministro de agua de los asentamientos urbanos en sus alrededores.

Las pendientes en el Monumento son muy variables, encontrándose valores de 0 a 90 grados en ciertas partes de la sierra en donde los sedimentos marinos se encuentran en posición vertical. El parte aguas del Monumento "Cerro de la Silla" debido a su orientación NNW – SSE, dominan las exposiciones N, NE y SW. La combinación de las condiciones de elevación, pendientes y orientación da origen al establecimiento de vegetación en diversas condiciones, con un mayor vigor en las laderas Norte y Noreste. Los suelos son típicos, semiáridos, asociados con vegetación desértica. Los tipos de suelos dominantes en el Monumento Natural "Cerro de la Silla" son los Litosoles, seguidos por los Regosoles, los Feozem; y en menor proporción los Luvisoles y los Fluvisoles.

Forma parte de la región hidrológica del "Río Bravo". En particular, el área del monumento se localiza dentro de la cuenca hidrológica de Monterrey. El principal río del área, es el Río La Silla, de tipo perenne con un flujo de agua paralelo a la Sierra Madre Oriental. Los principales arroyos tributarios del río La Silla son El Calabozo, La Virgen y Los Elizondo. Aguas abajo el río La Silla se une al río Santa Catarina. Cada estructura anticlinal, como lo es el Cerro de la Silla, constituye un subsistema con su propio régimen de escurrimiento independiente, dictado por su condición de área de recarga y por la presencia de barreras hidrológicas locales, la cual ocasiona una elevación local de niveles. Estas determinan las direcciones de flujo dentro del anticlinal y en sus márgenes . Dentro del Anticlinal del Cerro de la Silla, se forman varias microcuencas que fluyen hacia el este al salir del Monumento Natural, estas son las microcuencas del arroyo San Roque, integrada por las nanocuencas del arroyo Los Álamos y el arroyo Indito; la microcuenca del arroyo San Juan. De la ladera nororiental del Cerro de la Silla, drenan los arroyos Sabinas, El Durazno y Cañada Atravesada. Todos estos escurrimientos son de carácter intermitente.

El clima dominante en el Monumento de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García es templado, semicálido, subhúmedo, con lluvias de verano entre 700 y 900 m de precipitación promedio anual, y de 125 a 150 mm de precipitación promedio anual durante el otoño-invierno [(A)C(w0)]. Los principales tipos de vegetación en presentes en el Monumento Natural son el Matorral submontano y el Bosque de encino, con presencia de Vegetación y Bosque de galería principalmente en zonas de escurrimiento y a la orilla de los arroyos presentes en el área. Debido a su situación, en las proximidades de la capital del Estado de Nuevo León, el continuo crecimiento de la ciudad de Monterrey ha impuesto una gran presión sobre los ecosistemas del monumento, por lo que se llevó a cabo esta evaluación con el fin de evaluar dos de las amenazas a corto y mediano plazo más evidentes a las que está sometida el área: Invasión de las faldas del cerro con asentamientos humanos y degradación de la vegetación.

OBJETIVO

Llevar a cabo una Evaluación de paisaje y de la condición ecológica de la vegetación en el Monumento Natural Cerro de la Silla.

MÉTODOS

Se llevo a cabo una evaluación y caracterización de la condición ecológica de la vegetación dentro del monumento mediante un análisis florístico y ecológico con el objetivo de determinar los parámetros ecológicos de la vegetación, analizar la diversidad alfa y beta y recopilar registros florísticos dentro del monumento. Se evaluaron un total de 9 rodales de interés con un total de 385.34 has, utilizando cuadrantes de 400 m2 para la vegetación arbórea, 25 m2 para la vegetación arbustiva y 1 m2 para la vegetación del estrato herbáceo. Se llevaron a cabo Análisis de similitud (cualitativo de Jaccard, cuantitativo Bray-Curtis y de Componentes Principales), de riqueza puntual y completitud así como la descripción completa de la vegetación por cada unidad de muestreo.

Para el inventario de los sitios muestreados, se determinaron las especies presentes en el estrato arbustivo apoyándose con las guías de campo de; Alanís et al., (1996), Everitt et al, (1999), Everitt et al, (2002) y Flores (2005). Es importante mencionar que para completar la información del inventario de especies, se revisaron trabajos inéditos desarrollados en el área, así como también la consulta de bases de datos digitales mediante la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad. Con respecto a las observaciones sobre aspectos ecológicos de la vegetación, se determinaron las variables de cobertura, cobertura relativa, densidad, densidad relativa, frecuencia, frecuencia relativa y valor de importancia (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Flores y Álvarez-Sánchez, 2004)

Para la evaluación del paisaje se realizó un análisis con ATtila (Analytical tool interface for Landscape Assessments) extensión que trabaja con Arcview (Ebert, T.G., & Yankee, 2002) y un análisis de cambio de uso de suelo a partir de las coberturas de uso de suelo y vegetación de 1976 y la clasificación de una imagen Landsat ETM del 2003.

RESULTADOS

Se registraron un total de 196 especies de plantas vasculares integradas dentro d 157 órdenes y 54 familias. Esta diversidad representa un 8% del total estimado para el Estado de Nuevo León, lo cual pone de manifiesto la gran relevancia ecológica del Cerro

de la Silla. De este listado, un total de nueve familias contribuyeron con el 53% de la diversidad florística reportada para el MNCS (Figura 1), siendo la familia Asteraceae la más diversa con 23 especies y representando un 11.65% del listado, seguido por las leguminosas (Fabaceae 21 especies y 10.65%). En tercer sitio, se reportan Euphorbiaceae, Poaceae y Pteridaceae con 12 especies (6%) respectivamente Por su parte los géneros más diversos son Quercus (6 especies), seguido de Acacia (4 especies), y finalmente Salvia, Croton y Cheilanthes con 3 especies respectivamente (Figura 2).

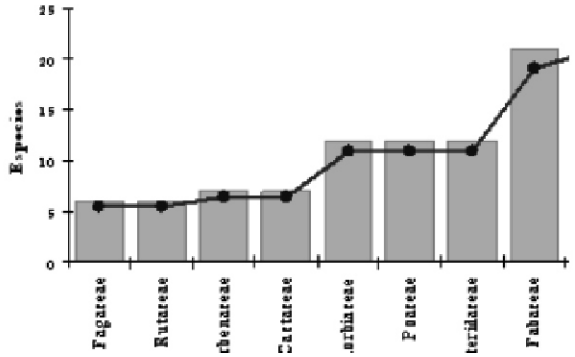


Figura 1. Contribución de especies por familia en el Monumento Natural "Cerro de la Silla"

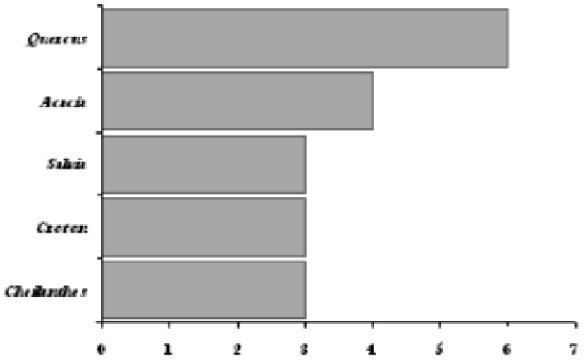


Figura 2. Contribución de géneros por familia en el Monumento Natural "Cerro de la Silla"

Debido a las condiciones geológicas y ambientales del MNCS, esta zona puede considerarse como una isla biogeográfica, propiciando procesos de especiación de diversos taxa, los cuales han derivado en la presencia de elementos endémicos como el Quercus sillae (C.G. Pringlei, 1903).

Dentro del total de especies registradas se encontraron dos que se encuentran en estatus de protección; Brahea berlandieri, situada en la categoría de Protección especial y el agave huasteco, Agave bracteosa, el cual se distribuye en las paredes verticales del MNCS y tiene la categoría de Amenazada.

La riqueza puntual o diversidad Alfa ??de los sitios muestreados oscilo entre cinco y 23 especies, presentando una media de 10.44 especies. Es importante señalar que una de las desventajas del método utilizado en los muestreos (Gentry 1982), es que éste no suministra información completa de la composición de especies (Villarreal et al, 2006), sin embargo, estas especies, pueden ser consideradas como las que estructuralmente proporcionan la fisionomía de los sitios evaluados. De ese modo, el total de especies reportadas para las nueve unidades de muestreo son 41 especies de plantas que definen estructuralmente los estratos arbustivo y arbóreo.

Se llevó a cabo un análisis de completitud con el método de Refracción Individual y estimadores no paramétricos (Chao2, Jacknife1, Jacknife2 y Boostrap) para verificar la eficacia del inventario, el índice arrojo valores que oscilan entre el 76 al 93%, con una media de 85.5%, lo que indica que aunque no se ha completado el inventario exhaustivo del sitio, se consideró que la representatividad muestreal fue adecuada para la escala y temporalidad del análisis.

Una de las ventajas del uso de índices de diversidad, es el poder resumir información en un valor único, de modo que nos permitan hacer comparaciones rápidas y poder estudiar los patrones de la estructura de la comunidad o ensamble de especies estudiado (Moreno y Halfter, 2001). De esa forma, la , presenta los valores obtenidos para los cuadrantes evaluados, donde desataca el Polígono 7 como el más diverso de acuerdo al modelo de Shannon (2.266), de igual forma, esta condición nos da un indicio que la repartición de los componentes estructurales es homogénea, situación que queda reforzada al revisar los valores de Dominancia reportados (0.1397).

Los valores más bajos del índice de Shannon fueron observados para los Polígonos 2 y 5, respectivamente (1.249 y 1.274). En contraparte, estas mismas áreas de muestreo exhibieron los valores más altos de dominancia. Esto se puede interpretar como la estructura de la vegetación de estas áreas está caracterizada por pocos elementos que exhiben los mayores valores de importancia dentro de la comunidad. (Tabla 1).

De modo general para los restantes cuadrantes evaluados, se observaron valores del índice de Dominancia fluctuaron entre 0.1968 (Polígono 10) y 0.2835 (Polígono 6). Por su parte los valores de Shannon oscilaron entre 1.903 (Polígono 9) y 1.613 (Polígono 6).

Tabla 1. Valores obtenidos de los índices de dominancia y Shannon para los 9 cuadrantes muestreados en el Monumento Natural "Cerro de la Silla".

	Pol1	Pol2	Pol3	Pol5	Pol6	Pol7	Pol8	Pol9	Pol10
Taxa S	8	6	11	5	10	15	9	12	10
Individuos	65	58	57	62	144	111	70	130	58
Dominancia D	0.2355	0.3734	0.2447	0.3288	0.2835	0.1397	0.2449	0.2125	0.1968
Shannon H	1.619	1.249	1.764	1.274	1.613	2.266	1.678	1.903	1.866

Se realizó una prueba de t para determinar diferencias significativas ($p<0.05$) y altamente significativas ($p<0.01$) entre los valores de Shannon para los pares de muestras evaluadas. Se encontró que hubo diferencias significativas entre la mayoría de los sitios analizados (Tabla 2). Esta información nos es de gran utilidad, pues al observar que para la mayoría de los cuadrantes analizados se presentaron diferencias significativas en los valores derivados del índice de Shannon, nos confirma que el Monumento Natural Cerro de la Silla, presenta una gran gama de condiciones ecológicas que deben ser protegidas bajo un esquema integrador.

Tabla 2. Valores de la prueba de t para los valores de Shannon determinados entre pares de cuadrantes analizados en el Monumento Natural "Cerro de la Silla"

	Pol2	Pol3	Pol5	Pol6	Pol7	Pol8	Pol9	Pol10
Pol1	t = 2.355 p = 0.02	t = -0.65449 p = 0.514	t = 2.4477 p = 0.015	t = -0.83023 p = 0.89655	t =-4.9181 p = 0.00000225	t = 0.37769 p = 0.70626	t = -2.2623 p = 0.025	t = 0.14254 p = 0.14254
Pol2		t = -2.5864 p = 0.010985	t = -0.24337 p = 0.80817	t = -2.5991 p = 0.010509	t = -6.8702 p = $3.17x10^{-10}$	t = -2.5916 p = 0.010695	t = -4.4888 p = $6.337x10^{-5}$	t = -3.539 p = $5.78897x10^{-4}$
Pol3			t = 2.6318 p = 0.009863	t = 0.57934 p = 0.56364	t = -3.228 p = 0.0016824	t = 0.31727 p = 0.75162	t = -1.12127 p = 0.26417	t = -0.61967 p =0.53674
Pol5				t = -2.7667 p = 0.0063049	t = -7.784 p = $9.2603x10^{-13}$	t = -2.6934 p = 0.0080085	t = -4.9787 p = $1.6053x10^{-6}$	t =-3.7478 p = 0.00028501
Pol6					t = -51597 p = $5.0378x10^{-7}$	t = -2.2967 p = 0.022392	t = -2.2967 p = 0.022392	t = -1.4406 p = 0.15224
Pol7		P < 0.05				t = 4.2142 p = 0.0004345	t = 2.8199 p = 0.0052049	t = 2.888 p = 0.0045994
Pol8		P < 0.01					t = -1.7262 p = 0.086321	t = -1.0593 p = 0.29151
Pol9								t =0.49815 p = 0.01926

Según el análisis de similitud cualitativa de Jaccard, la composición florística observada en cada uno de los cuadrantes desarrollados arrojo un total de 5 grupos florísticos de acuerdo al nivel de similitud. De estos grupos, se observa que los polígonos 1, 2. 6, 10 y 5 se constituyen como una zona de transición florística entre los polígonos del extremo sur (polígono 8) y los polígonos del extremo norte (3 y 9) y noroeste (7) (Figura 3).

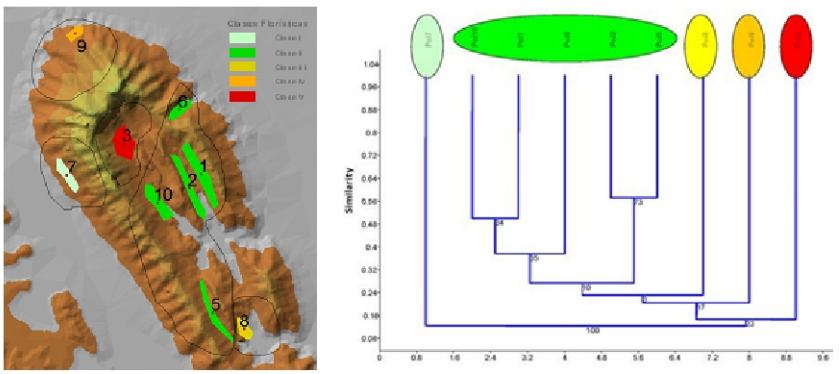


Figura 3. Fenograma y mapa obtenido mediante el método de Jaccard (Similitud Cuantitativa) para nueve cuadrantes de muestreo dentro del área del Monumento Natural Cerro de la Silla.

En el índice de similitud cuantitativo (Bay-Curtis) se observa la constitución de tres grupos en el fenograma de áreas. En el primero de ellos se integran los Polígonos 6, 1, 5, 2 y 10, los cuales se agrupan con valores de similitud que van desde el 24%. Dentro de este grupo, es posible observar la separación de dos subgrupos de acuerdo a las relaciones de similitud taxonómica y estructural. El primero de estos subgrupos lo constituye la unión de los Polígonos 1 y 6 (valor de similitud del 30%. Un segundo subgrupo se da entre los Polígonos 5, 10 y 2, los cuales tienen un mayor grado de similitud (el grupo presenta valores de más del 60%). La interpretación ecológica de estos resultados puede atribuírsele a la contigüidad de las áreas en cuestión, pues representan un continuo de la distribución de elementos florísticos que a su vez, también se expresan con valores de importancia similares (Figura 4).

Otro grupo que se integra a partir de las distancias de similitud, es la asociación entre el Polígono 9 y el 7. Ambas áreas de muestreo se presentan en la cara externa del Monumento Natural, y se asocian a valores del orden del 40% de similitud. Para estas zonas los elementos estructurales que caracterizan esta agrupación son Bernardia myricifolia y Fraxinus por mencionar algunos. Finalmente, resulta interesante la agrupación dentro del fenograma de áreas, entre los Polígonos 8 y 3, considerando lo disyunto de su distribución. De la ubicación de ambos polígonos dentro del Monumento Natural Cerro de la Silla. El posible grado de asociación está dado por la presencia de Randia rhagocarpa que ofrece valores de importancia similares dentro de las áreas analizadas, otra interpretación puede darse por la similar exposición de las áreas muestreadas.

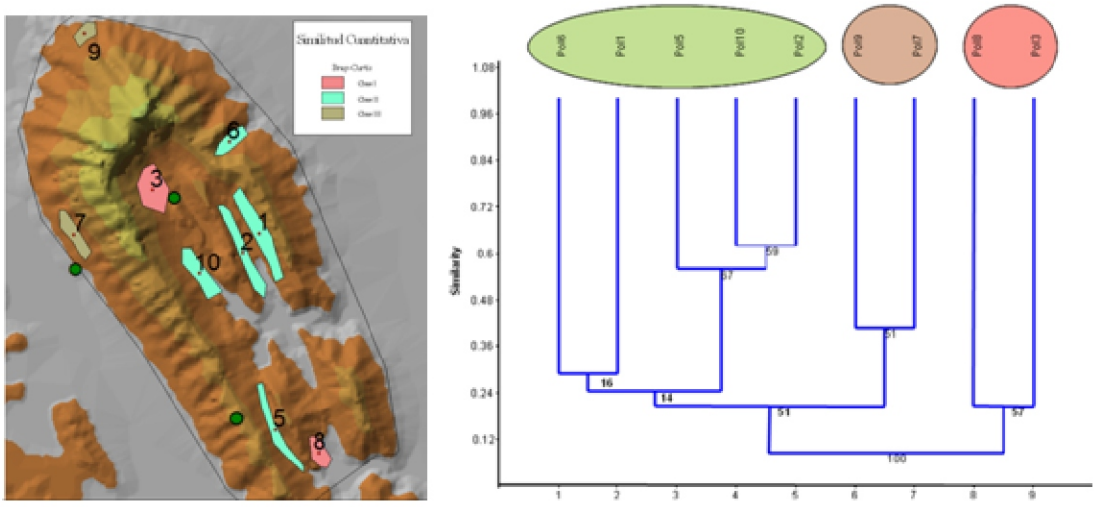


Figura 4. Fenograma y mapa de áreas obtenido con el método de similitud cuantitativo de Bray Curtis para nueve cuadrantes de 400 m2 dentro del Monumento Natural "Cerro de la Silla"

El análisis de componentes principales, definió tres grupos. Los tres primeros componentes principales representan el 80% de la varianza acumulada (Figura 5). En el primero de estos grupos se integra por todos los polígonos que se distribuyen dentro del Monumento Natural Cerro de la Silla (Polígonos 8, 5, 10, 2 y 3). Los componentes principales que definen este grupo son Croton incaunus, Pithecellobium ebano, Quercus polymorpha, y particularmente Zanthoxylum fagara.

El segundo grupo se caracteriza por la presencia del guajillo Acacia berlandieri, el cual para estos polígonos se presenta con los valores de importancia más altos. Los sitios evaluados presentan elementos rosetófilos caracterizados principalmente por Agave lechuguilla (Lechuguilla), además de Opuntia engelmanii. Un elemento que contribuye con la diferenciación entre los Polígonos 1 y 6, es la presencia de jopoy o limoncillo (Esebekia berlandieri). Finalmente, los polígonos 7 y 9, se posicionan en un eje extremo del total de los polígonos evaluados. En su sentido ecológico, esta situación se traduce en una composición florística y estructura distinta a lo observado para el restante de puntos evaluados. De esa forma, los componentes principales que determinan este grupo son Pithecellobium pallens, Decatropis bicolor, Amyris madrensis y el elemento más importante para esta condición observada: Bernardia myricifolia.

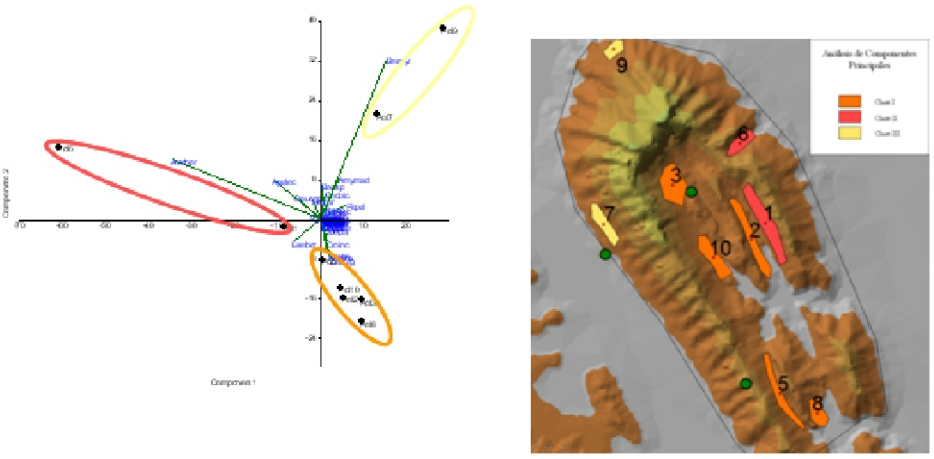


Figura 5. Gráfico y mapa que define los componentes principales donde se identifican las tres asociaciones en base a su composición taxonómica y el valor de importancia de las especies en el MNCS.

Cambio de uso de suelo

El análisis de cambio de uso de suelo incluyó el área del monumento natural así como un buffer de 500 m como área de influencia, ambas áreas se analizaron por separado para tener una idea de la cantidad de cambio que ha ocurrido en los alrededores del área natural protegida y que constituye una amenaza a corto y mediano plazo, el análisis se llevó a cabo utilizando la cobertura de información de uso de suelo y vegetación de INEGI correspondiente a 1975 y lea clasificación de una imagen de satélite Landsat ETM del año 2003 (Figura 6).

Las clases que perdieron superficie de 1975 al 2003 fueron el matorral submontano (1,363 has), el Bosque de encino (86 has), la Vegetación de galería (50 has), el Pastizal inducido (48 has), la Agricultura de temporal (31 has) y el Matorral desértico rosetófilo con 5 has. Las clases que ganaron superficie en el período antes mencionado fueron de mayor a menor, las Áreas urbanas residenciales con 566 has, la categoría de Matorral-herbáceas-pastizal mix (que representa al matorral en estado de degradación) con 357 has, los manchones de vegetación en áreas urbanas con 342 has, los caminos (234 has), las Áreas urbanas comerciales e industriales con 10 y 2 has respectivamente, todos estos cambios en el área de influencia del monumento (Figura 7)

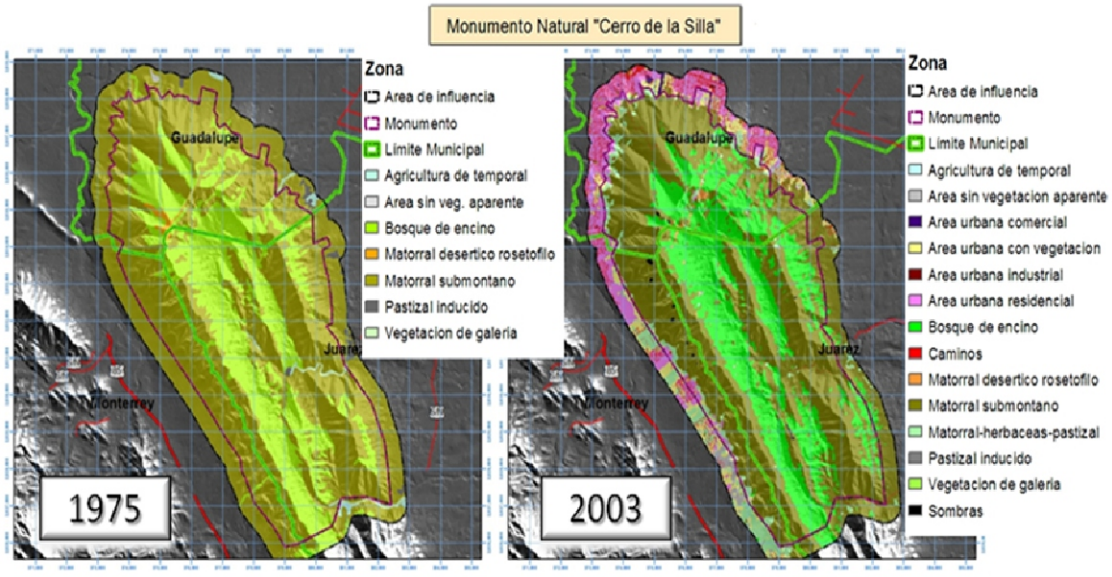


Figura 6. Cobertura de Suelo del Monumento Natural "Cerro de la Silla" en 1975 y la obtenida a partir de la clasificación de la Imagen Landsat 2003

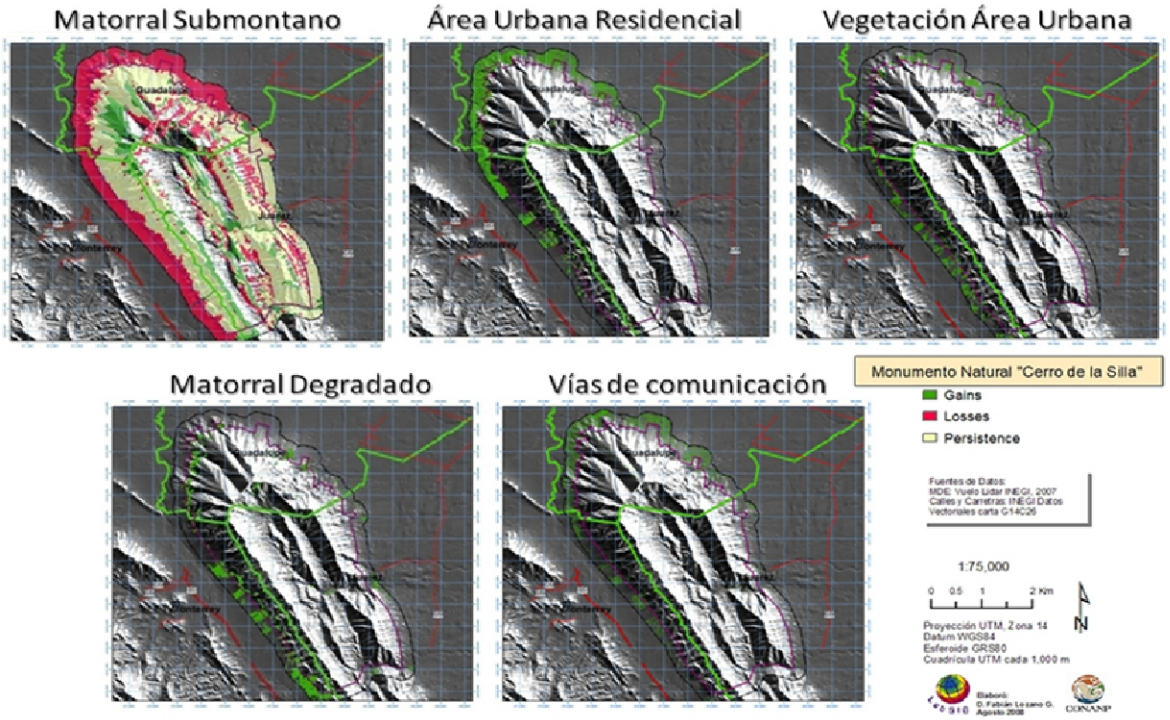


Figura 7. Ganancia, perdida y persistencia del Matorral submontano y las áreas de ganancia para el área urbana residencial, la vegetación urbana y las vías de comunicación.

El principal tipo de transformación ocurrida en el área fue la de Matorral submontano hacia usos de suelo como el urbano residencial, vegetación asociada a áreas urbanas, caminos y matorral degradado, con la presencia de vegetación herbácea y pastizales. En base a un análisis de las intensidades de cambio, se determinó que la mayor cantidad o intensidad de cambio del matorral submontano hacia vías de comunicación y área urbana residencial se presento en las faldas del Cerro de la Silla en la parte frontal principalmente en el Municipio de Guadalupe, lo que sugiere que hasta 2003 en esa zona se realizaron la mayor parte de la construcción de fraccionamientos, la transformación-degradación hacia vegetación urbana con vegetación, como se presenta en toda el área de influencia del municipio de Guadalupe y se extiende en el Municipio de Monterrey hacia la zona del Cañón del Huajuco, donde existe una fuerte presión por la cada vez mayor ocupación de las faldas del Cerro para viviendas en la zona próxima al área metropolitana.

Por último el cambio del matorral submontano hacia parches con matorral submontano en estado de degradación, se presentó principalmente en la parte occidental del monumento, tanto en el municipio de Guadalupe como en el de Monterrey. Las intensidades de cambio, tanto de la presencia de vegetación asociada a las áreas urbanas como el de matorrales en estado de degradación constituyen un indicador importante para la prevención de disparadores de transformación ya que es un fenómeno conocido, que las "áreas degradadas" son potenciadoras de transformación, sobre todo en áreas muy cercanas a los centros urbanos o en áreas dedicadas a la agricultura o ganadería. Este fenómeno, de una primera degradación o alteración de la vegetación seguida por la eventual transformación a otros usos del suelo es, sin duda, responsable en gran medida de la elevada tasa de pérdida de la vegetación natural que se experimenta en México (Flores, 2002–). La dinámica de cambios entre diferentes usos puede visualizarse como un flujo de terrenos que pasan de una forma de uso o manejo a otra.

Evaluación del Paisaje

Como unidad de análisis se tomaron las nanocuencas definidas para el área del monumento natural, estas serán denominadas dentro del texto como Unidades de Evaluación del paisaje (UE) o nanocuencas. Se utilizó como base la clasificación realizada con la imagen 2003, solo se consideraron las categorías de cobertura de suelo terrestres, los cuerpos de agua fueron excluidos del análisis. Para cada una de las unidades de evaluación del paisaje se obtuvieron las siguientes métricas: Características de la cobertura de suelo, Fragmentación, Características de los escurrimientos y

Características Físicas.
En cuanto a la cobertura de suelo se encontró que más del 90% del área del Monumento Natural está cubierta por vegetación natural, de esta el 62% corresponde al matorral submontano y un 32% al bosque de encino, el 6% restante incluyen clases como zonas urbanas, suelo desnudo, etc.. Mientras que en su área de influencia los mayores porcentajes fueron un 50% de zonas urbanas (que incluye Zonas urbanas, residenciales, comerciales, industriales), 3% de bosque de encino y 32% de matorrales.
Uno de los aspectos más importantes de las métricas de cobertura es el índice de naturalidad y el índice urbano, este índice es importante porque es un indicador de los sitios donde el uso urbano principalmente residencial están invadiendo zonas dentro del Monumento Natural, de acuerdo a estos índices (Figura 8) el Monumento se encuentra en buen estado de conservación desde la perspectiva de las clases de cobertura de suelo que la integran, todas las unidades de evaluación obtuvieron valores mayores al 90% con excepción del Durazno 1 que obtuvo un 77.72%.

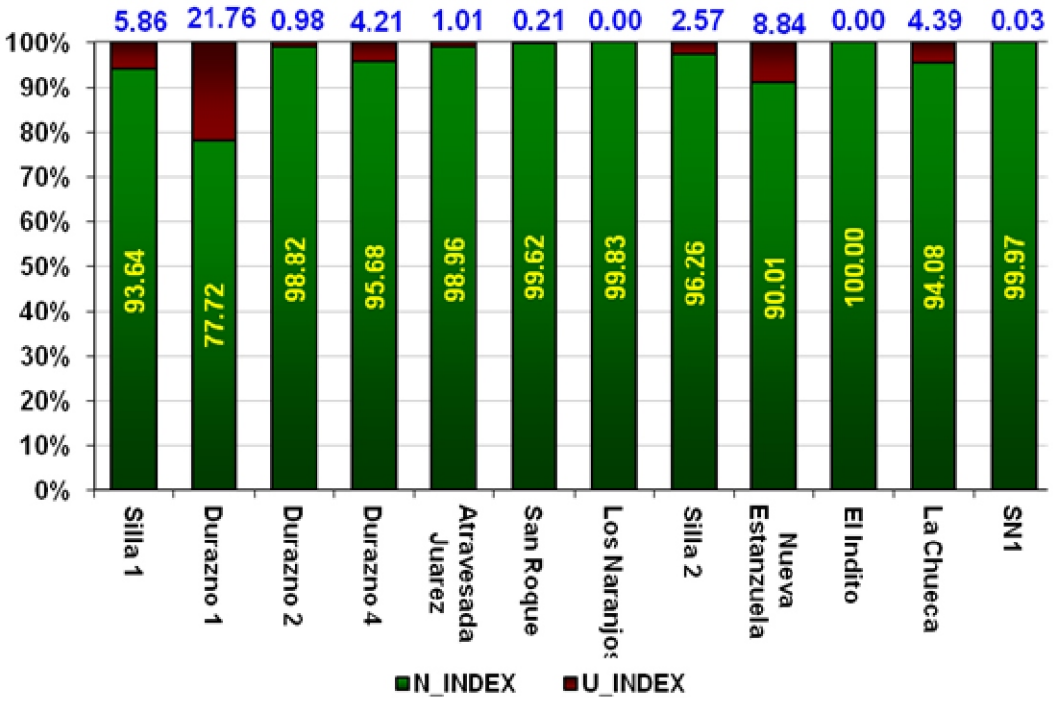


Figura 8. Valores del índice de naturalidad e índice urbano para las UE del paisaje

Análisis de Fragmentación en las unidades de evaluación
Las clases de fragmentación obtenidas están basadas en la clasificación de la fragmentación hecha por (Ritters et al 2000), los cálculos de las clases están basados en los valores de Pf y Pff para el bosque de encino y el matorral submontano respectivamente.
Cabe aclarar que el tamaño de borde asignado a ambos tipos de cobertura de suelo (bosque de encino y matorral submontano), aunque basados en características de la densidad y cobertura general de estas clases, son arbitrarios, ya que el tamaño de borde depende de factores que es necesario determinar en campo, como estado de la vegetación, cobertura, densidad de especies, etc. Así que los valores que aquí se presentan, nos dan una idea general del estado de salud de estas clases de cobertura de suelo, con la salvedad de que el tamaño de borde es arbitrario y por lo tanto el porcentaje calculado de bosque interior, de transición pueden variar si se ajusta este dato a la condición de cada una de las clases que se incluyeron en el análisis.
La primera clase de fragmentación reportada es porcentaje de parches obtenida en el bosque de encino y en el matorral submontano. Ambas clases obtuvieron un número pequeño de parches, por lo que los porcentajes obtenidos por área de UE de paisaje son por ende pequeños.
El porcentaje vegetación de transición tanto para el bosque de encino como para el matorral submontano, aunque en diferente proporción para cada una de estas clases, se encontró en valores mayores a 1% en las Unidades de Evaluación que presentan ambos tipos de vegetación en su área, como son el Durazno 2 y 4, Atravesada Juárez, Los Naranjos, El Indito y en

Es la proporción de la clase bajo análisis en la ventana de análisis, mientras que el Pff examina el borde entre píxeles pares en la ventana, donde al menos uno de los pixeles en el par pertenece a la clase analizada.

menor proporción la UE SN1, estos valores no sobrepasaron el 6% en ambas coberturas de suelo.
El porcentaje de bordes para ambas clases fue menor al 25%, la clase de bosque y matorral perforado no paso de 3%, el valor máximo para el bosque de encino fue de 0.5% mientras que para el matorral submontano fue de aproximadamente del 3%. En la clase de bosque interior y matorral interior los valores fluctuaron de 0 a 33% en el bosque de encino y de 18 a 84% en el matorral submontano.
En base a estas estadísticas podemos concluir que el estatus estructural de conectividad del bosque de encino y del matorral submontano en el Monumento Cerro de la Silla es bueno, sin embargo, es evidente la presión urbana en las zonas aledañas a éste y en algunas Unidades de Evaluación, las clases urbanas han comenzado a invadir el interior del monumento, lo que aumenta el potencial de fragmentación en esas áreas
La métrica de características riparias, es muy similar a la métrica de características del paisaje, sin embargo está enfocada a las proporciones de cobertura de suelo que cubren las zonas adyacentes o cercanas a las corrientes de agua o escurrimientos. Para el cálculo de esta métrica se consideraron dos áreas buffer una de 10 m y otra de 40 m.
Las UE que resultaron con un área o porcentaje de escurrimientos asociados a las clases urbanas fueron La Silla 1 y 2, Durazno 1,2 y 4, Atravesada Juárez, San Roque, Los Naranjos y en muy poca proporción Nueva Estanzuela. El porcentaje de longitud de escurrimientos adyacentes al bosque de encino se encontró principalmente en las UE San Roque, SN1 y La Silla 1, y en menor proporción en El Durazno 4, Atravesada Juárez y Los Naranjos. En el matorral submontano, dada su distribución en el monumento, resultó estar adyacente a los escurrimientos en la mayor parte de las unidades de evaluación. El valor más bajo se encontró en la UE de San Roque, donde el bosque de encino se encuentra en mayor proporción y tiene un mayor grado de adyacencia con éstos, las UE que se encuentran en las caras externas del monumento fueron las que obtuvieron mayores porcentajes de asociación con el matorral submontano.
El porcentaje de escurrimientos asociado a las clases inherentes a las actividades humanas queda restringida a las zonas donde los fraccionamientos residenciales, principalmente han invadido al ANP (Figura 9), es evidente que los escurrimientos presentes en el Monumento Natural y sus áreas circunvecinas aún se encuentran en buen estado de conservación, sin embargo es necesario incrementar la vigilancia para evitar que se fraccione o utilicen aéreas dentro del monumento que todavía se encuentran en buen estado.

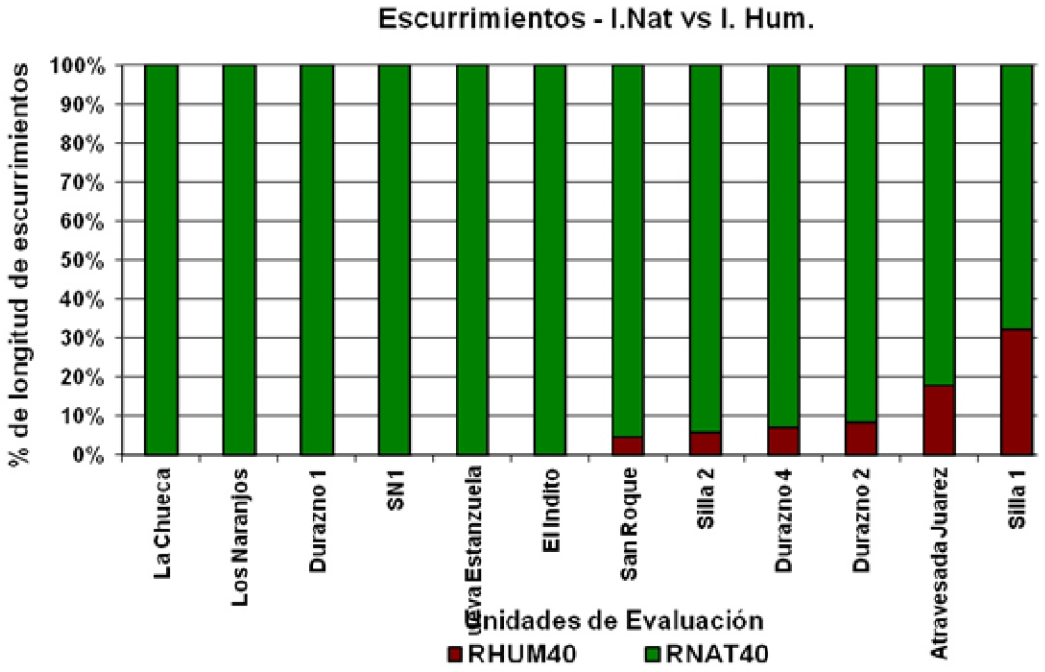


Figura 9. Área de escurrimientos asociada a las clases naturales y clases antropicas por UE.

Otra métrica obtenida fue la densidad de escurrimientos por unidad de Evaluación. Sólo en San Roque y en SN1 se encontraron los tres órdenes de escurrimientos, en El Durazno 4, orden 1 y 2, mientras que en el resto de las unidades de evaluación solo se presentan escurrimientos de orden 1. La mayor densidad de escurrimientos se presenta en El Durrazno 1 y la Silla 2, seguidas por El Durazno 4 y Nueva Estanzuela, estas unidades a pesar de presentar las mayores densidades no presentan las mayores longitudes de escurrimientos. Las mayores longitudes se presentaron en La Silla 1 y San Roque (Figura 10).

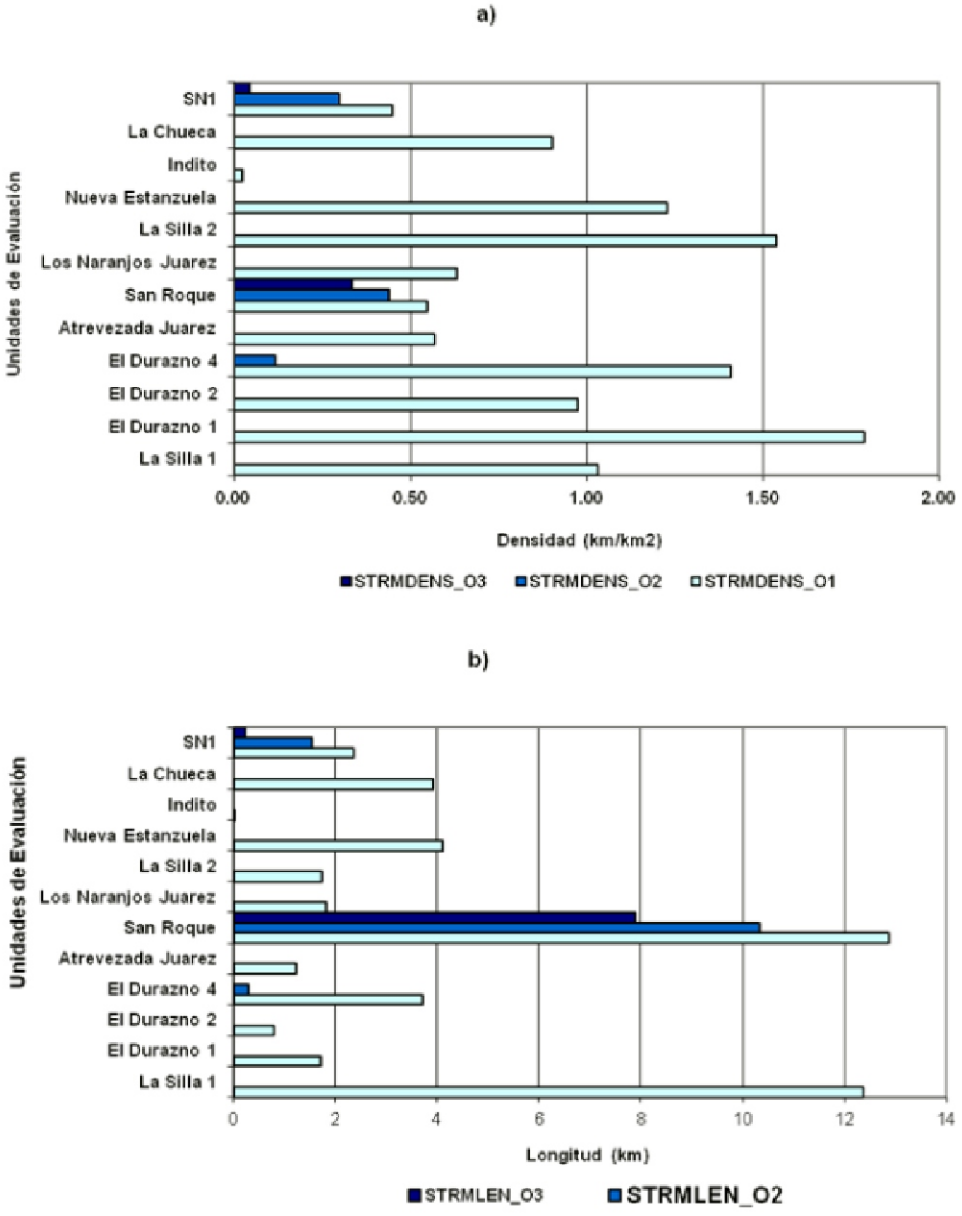


Figura 10. Densidad (a) y longitud (b) de los escurrimientos por UE del paisaje (el gradiente de colores indica el orden de escurrimiento).

Para el análisis de las topoformas dominantes en el Monumento se generaron 4 clases: Fondo de cañada, Cima de cañada, Pendiente suave y Pendiente escarpada (Figura 11). El fondo de cañada está definido por los pixeles que tienen valores menores a 12 metros con respecto a la elevación promedio de sus vecinos más cercanos, la clase de Cima de cañada se definió con los pixeles que tenían un valor mayor de 12 metros con respecto a la elevación promedio de sus vecinos más cercanos. Las clases de pendiente suave y pendiente escarpada, se asignaron a los pixeles que no cayeron en ninguna de las clases de cañada y que tenían menos de 6 grados en el primer caso (pendiente suave) y más de 6 grados en el segundo caso (pendiente escarpada).

La clase dominante en el monumento es la de pendiente escarpada, seguida por las categorías de cañada, la clase de pendiente suave solo se encontró en pequeñas zonas de la UE San Roque. Como se puede observar en la ., solo en las Unidades Evaluación de San Roque y SN1 se presentan pendientes suaves en áreas mayores de 10 has. En el resto de las UE o no se presenta esta condición o existe en áreas que no superan las 2 has.

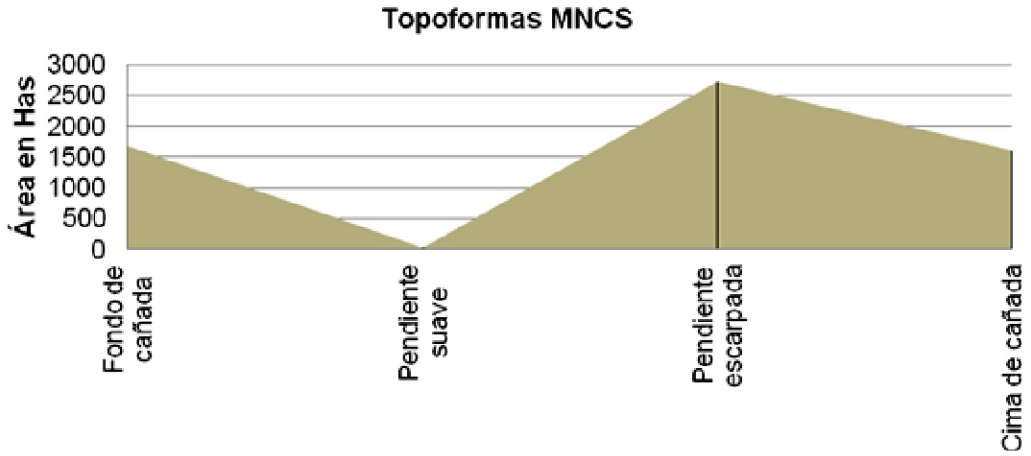


Figura 11. Topoformas del Monumento Natural "Cerro de la Silla" (MNCS).

El Monumento Natural está compuesto de una topografía abrupta, esto se pone de manifiesto al observar los resultados del análisis de topoformas donde se observa la dominancia de la clases de cañada y de pendiente escarpada, por lo que debe ponerse especial atención en las áreas donde se presente o se pretenda la eliminación parcial o total de la vegetación, ya que el tipo de topografía hace a las laderas del Monumento especialmente susceptibles a procesos erosivos.

CONCLUSIONES

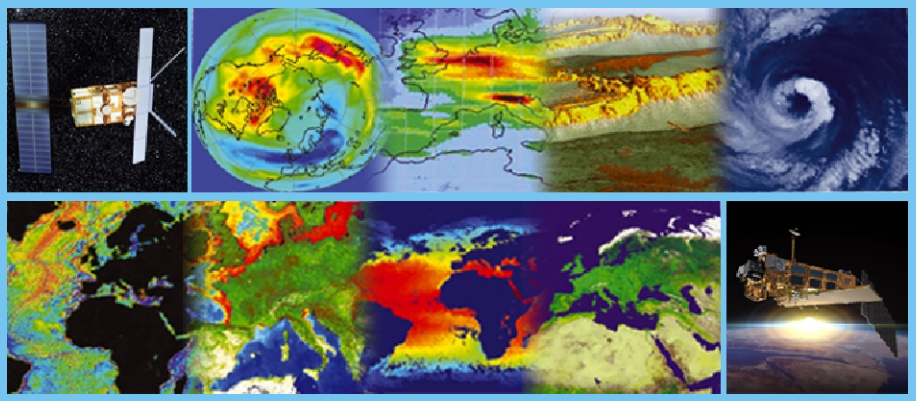
La evaluación de la condición de la vegetación corrobora que el Monumento Natural Cerro de la Silla, presenta una gran gama de condiciones ecológicas que deben ser protegidas bajo un esquema integrador. Los resultados derivados del presente estudio se constituyen como una primera aproximación, es conveniente en un futuro aumentar el número de réplicas de muestreo para contar con mayor soporte estadístico de los datos que nos permita contar con bases técnicas sólidas para la correcta toma de decisiones.

En base a la información obtenida en el análisis de cambio de uso de suelo, se puede concluir que los tipos de vegetación que se encuentran dentro del área del límite del monumento natural no sufrieron gran cambio en el período 1975-2003, sin embargo, es necesario hacer un análisis de cambio dirigido a la degradación de la vegetación para tener una perspectiva más completa.

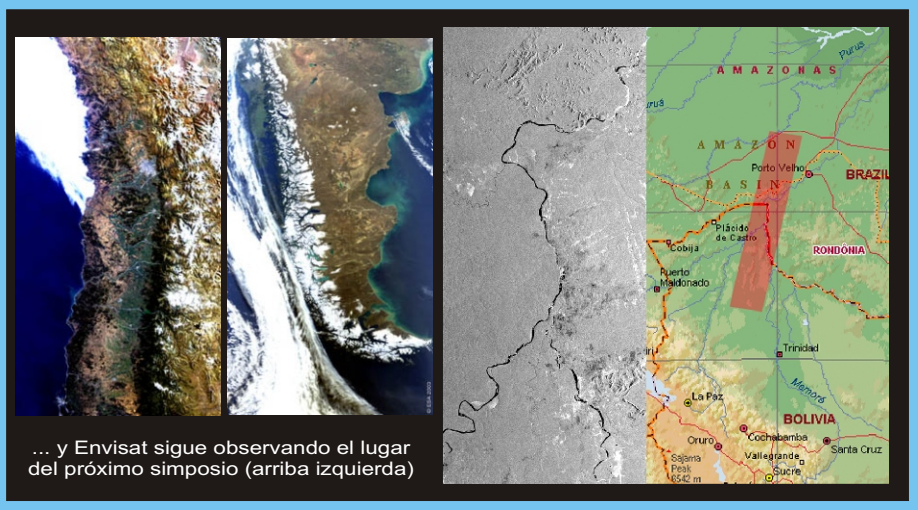
El análisis de paisaje confirma el buen estado de conservación del Monumento, no obstante, la intensa actividad fraccionadora que se tiene en su área de influencia amenaza con a un proceso de aislamiento que pone en riesgo no solo la integridad del paisaje y su cobertura de suelo, sino a numerosas especies de fauna que lo habitan, lo que implica una amenaza de corto y mediano plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Ajilvsgi G. (1984). Wildflowers of Texas. Fredericksburg: Shearer Publishing.
Alanís Flores Glafiro, C. y. (1996). Vegetación y flora de Nuevo León. Una Guía Botánico Ecológica. (Primera Edición ed.). Monterrey, Nuevo León, México: Consejo Consultivo para la Preservación y Fomento de la Flora y la Fauna Silvestre de Nuevo León.
Ebert, DW, T.G. Wade, JE Harrison and DH Yankee (2002). Analytical Tools Interface for Landscape Assessments (ATTILA) Arcview Extention. Towson University GIS Conference. MD: March 25-26.
Everitt J.H. Dawe D.L. and Leonard R.I. 2002. Trees, Shrubs and Cati of South Texas. Lubbock University Press, 249 pp.
Everitt J.H. 1999. Field Guide to the Broad-Leaved Herbaceaus Plants of South Texas. Ussed by Livestock and Wildlife. Texas Tech University Press. 277 p.
Flores J. S. and Álvarez-Sánches J. Flora y Vegetación [Book Section] // Técnicas de Muestreo para Manejadores de Recursos Naturales. / book auth. Bautista-Zuñiga F. [et al.]. - Xalapa : Instituto Nacional de Ecología, 2004.
Flores–Martínez, A. (2002). "Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales." Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), México DF.
Flores, J.S. y Alvares-Sánchez J. 2004. Flora y Vegetación. In: Técnicas de Muestreo Para Manejadores de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de México. UAY, Conacyt, INE, 1ª. Edición. p. 303-327.
García, E. (1998). Clasificacion de Köppen modificado por García. Escala 1:1000000 . México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
Gentry A.H. 1982. Patterns of Neotropical plant diversity. Evolutionary Biology. Vol. 15. - págs. 1-84
Halffter G., Moreno C.E. and Pineda E.O. Manual de Métodos para Medir la Biodiversidad en Reservas de la Biosfera; Sociedad Entomológica Aragonesa, 2001. 82 p.
Mostacedo B. and Fredericksen T.S. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto BOLFOR. Santa Cruz de la Sierra: Bolivia. 87 p. .
Ritters K., J. Wickham, R. O´Neill, B. Jones and E. Smith. 2000. Global-Scale Patterns of forest fragmentation. Conservation Ecology. 4(2): 3 [online] URL: http://www.consecol.org/vol4/iss2/art3
Sánchez Carlin, E. (2001). Riesgos Geológicos en la Porción Noroeste del Cerro de la Silla, Monterrey, N.L. México. 2001. Linares, N.L.: Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León.
Villareal, H., M. Álvarez, et al. (2004). "Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad." Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia 236: 1981.



ESA promueve el desarrollo y la cooperación internacional



... y Envisat sigue observando el lugar del próximo simposio (arriba izquierda)

esa
european space agency
agence spatiale européene

ESA - ESRIN
Via Galileo Galilei,
Casella Postale 64.
00044 Frascati (Roma)
ITALIA
Tel: (39.06) 94180.409
Fax: (39.06) 94180.280
Att: Sr. Francesco Sarti (América Latina)

ESA - Asuntos Internacionales
8-10 rue Mario Nikis,
75738 PARIS Cedex 15, FRANCIA
Tel: (33.1) 5369.7731, Fax: (33.1) 5369.7627
Att: Sra. Marie Elisabeth De Vel (América Latina)